

ELECTRON BEAM SYSTEM

BACKGROUND OF THE INVENTION

5 本発明は、高スループット且つ高信頼性で、電子線透過マスクに対して欠陥検査等の評価を行う電子線装置に関し、更に、そのような電子線装置に用いるデバイスの製造方法に関する。

従来、ステンシルマスクなどの各種マスクの欠陥検査は、マスクに可視光線などの光を透過させ、その像をCCDカメラで検出して検査（光方式検査）が行われていた。

10 従来の光方式の欠陥検査装置では、 $0.2\mu\text{m}$ 以下のマスクの欠陥を検査することができなかった。

また、マスクに対して電子線を走査させ、このマスクから放出される二次電子、反射電子等を検出し、これらに基づき上記マスクの欠陥を検査する装置（SEM方式の検査装置）もあったが、そのような装置では、検査に長時間要するという問題点もあった。

SUMMARY OF THE INVENTION

20 本発明は、上記問題点に鑑みてなされたもので、高スループット且つ高信頼性で細かい欠陥の検査を行うことができ、また、そのような装置でマスク検査を行うことによりデバイス製造の歩留りを向上させるデバイス製造方法を提供することを目的とする。

本発明は、電子線を放出して当該電子線を試料に照射するための電子銃と、試料を透過した電子線を拡大する電子レンズと、前記拡大された電子線を検出して、試料の画像を形成する検出器とを備えた電子線装置を提供するものである。

25 また、本発明は、ウェーハ又はマスクのための半導体製造装置であって、欠陥検査装置を内蔵する半導体製造装置を提供するものである。

さらに、本発明は、検査対象である試料の試料面に電子銃より放出された1次電子線を入射させ、その試料から放出される2次電子線により形成される電子像を拡大して検出する電子線装置に於いて、前記1次電子線と前記2次電子線とに共通する光路上にNA開口を設け、前記試料面の近くに電子レンズを設け、前記

電子銃が作るクロスオーバと前記電子レンズと前記NA開口とが、それぞれ共役関係にある電子線装置を提供するものである。

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

図1は、第1の発明の一実施例による検査装置の主要構成要素を示す立面図であって、図2Aの線A-Aに沿って見た図である。

図2Aは、図1に示す検査装置の主要構成要素の平面図であって、図1の線B-Bに沿って見た図である。

図2Bは、第1の発明にける基板搬入装置の他の実施例を示す概略断面図である。

図3は、図1のミニエンバイロメント装置を示す断面図であって、図2Aの線C-Cに沿って見た図である。

図4は、図1のローダハウジングを示す図であって、図2の線D-Dに沿って見た図である。

図5Aは、マスクラックの拡大側面図である。

図5Bは、図5Aの線E-Eに沿って見た断面図である。

図6は、主ハウジングの支持方法の変形例を示す図である。

図7は、本実施例における電子線装置（すなわち、電子光学装置）の概略構成を示す模式図である。

図8は、第1の発明の変形例による欠陥検査装置の概略構成図である。

図9は、図8の欠陥検査装置の検出器の具体的構成例を示す図である。

図10は、図8の欠陥検査装置におけるマスク検査のメインルーチンの流れを示すフローチャートである。

図11は、図10における複数の被検査画像データ取得工程（ステップ1304）のサブルーチンの詳細な流れを示すフローチャートである。

図12は、図10における比較工程（ステップ1308）のサブルーチンの詳細な流れを示すフローチャートである。

図13は、図8の欠陥検査装置で取得される複数の被検査画像及び基準画像の例を示す図である。

図14は、マスクの表面上で部分的に重なり合いながら互いから位置がずらさ

れた複数の被検査領域を概念的に示す図である。

図 1 5 A は、第 1 の発明の他の実施例による電子線装置の概略図である。

図 1 5 B は、図 1 5 A の実施の例における複数の一次電子線で試料を走査する態様を示す概略平面図である。

- 5 図 1 6 は、第 1 の発明による半導体デバイスの製造方法の一実施例を示すフローチャートである。

図 1 7 A は、図 1 6 に示すウエハプロセッシング工程の中核をなすリソグラフィ工程を示すフローチャートである。

図 1 7 B は、マスクの欠陥検査の手順を示すフローチャートである。

- 10 図 1 8 は、第 2 の発明の原理を説明する構成図である。

図 1 9 は、第 2 の発明の工程例を示す図である。

図 2 0 は、第 2 の発明に関連する従来方式の説明図である。

図 2 1 は、第 2 の発明に関連する従来方式の工程例を示す図である。

図 2 2 は、第 2 の発明の第二の実施例を示す図である。

- 15 図 2 3 は、差動排気部の説明図である。

図 2 4 は、第 2 の発明の第三の実施例を示す図である。

図 2 5 は、第 2 の発明の第四の実施例を示す図である。

図 2 6 は、図 2 5 の電子線照射方法を示す図である。

- 20 図 2 7 は、反射電子を用いる写像投影方式の電子顕微鏡の光学系の概略図である。

図 2 8 は、第 2 の発明の実施例に係る装置を用いたプロセスの方法の実施例を示すフローチャートである。

図 2 9 は、第 3 の発明の第 1 の実施例の電子線装置の全体図である。

図 3 0 は、第 3 の発明の第 1 の実施例の電子線装置の一部の詳細図である。

- 25 図 3 1 は、余弦法則の説明図である。

図 3 2 (a) は、成形開口の平面図である。

図 3 2 (b) は、成形開口を通して試料面上に照射される 1 次電子線の像の強度分布図である。

図 3 3 は、図 3 2 (b) の各断面における 1 次電子線の強度分布図である。

図 3 4 は、第 3 の発明の第 2 の実施例の電子線装置の一部の詳細図である。

図 3 5 は、拡大像を設ける位置と拡大レンズとの距離 L を変化させたときの歪の説明図である。

図 3 6 は、3 次と 5 次の歪の説明図である。

5 図 3 7 は、対物レンズ（電磁レンズ）の概略断面図又は端面図。

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

まず、第 1 の発明の実施例に係る電子線装置の概要を説明する。

「1」 この電子線装置は、電子銃から放出された電子線を試料に照射し、試料を透過した電子線を電子レンズで拡大して複数の画素を有する検出器で検出して
10 試料の画像を形成する電子線装置である。

「2」 上記電子線装置において、上記試料はステンスルマスクとすることができる。

「3」 上記電子線装置において、上記照射される電子線は平行度の良い電子線とすることができる。

15 「4」 上記電子線装置において、上記照射光学系は少なくとも 1 個の成形開口を有することができ、該成形開口の像を試料の面上に結像させることができる。

「5」 上記電子線装置において、上記成形開口は光軸の近くに成形開口を複数有することができ、又別の装置では該成形開口相互の重なりを変化する事により上記試料を照射する面積を変更できる。

20 「6」 上記電子線装置において、上記電子銃は熱電子放出カソードを有することができ、空間電荷制限条件で動作することができる。

「7」 上記電子線装置において、上記電子線装置は少なくとも 2 段の電子レンズと一枚の成形開口とを有することができ、かつ、上記成形開口から出た主光線が試料に平行に照射されることができる。

25 「8」 上記電子線装置において、上記照射光学系は照射レンズ系の入射ひとみを有することができ、光源像が上記入射ひとみに結像されることができる。

「9」 上記電子線装置において、拡大レンズの拡大率を、上記電子線の照射領域の大きさに対応させて可変にすることができる。

「10」 上記電子線装置において、上記電子線の照射領域は長辺と短辺を有す

る長方形状とすることができ、上記試料を載置した試料台を上記短辺の方向に連続移動させながら試料の検出（評価）を行うことができる。

「11」 上記電子線装置において、上記電子線をステップ的または連続的に走査させることができる。

- 5 「12」 上記電子線装置において、上記検出器は、シンチレータ、CCD検出器及び光学レンズを有することができ、シンチレータが作る像の大きさを光学レンズで調整して上記CCD検出器におけるCCD面に結像させることができる。

「13」 上記電子線装置において、上記電子銃はFE、TFE、ショットキーカソードを有する光源像の小さな電子銃とすることができる。

- 10 「14」 上記電子線装置において、上記電子銃は上記試料の下側に配置することができ、上記試料の欠陥を検出する検出器は、上記試料、ステンシルマスクの上側に配置することができる。

- 「15」 上記電子線装置において、上記電子銃と上記検出器との間に電子線を拡大する拡大レンズを複数備えることができ、かつ、試料（各種マスク）を透過した電子線を最初に拡大する拡大レンズは、ダブレットレンズとすることができる。
- 15

- 「16」 上記電子線装置において、上記拡大レンズはNA開口を有することができ、試料で散乱されて来た平行度の悪い電子線をNA開口で取り除く様、設計することができる。その具体的構成の一例は、上記ダブレットレンズの間にNA開口を設ける。
- 20

「17」 上記電子線装置において、上記検出器はMCP、シンチレータを真空中とすることができ、その後方に真空窓を兼ねたリレー光学系と、CCD検出器又はTDI検出器の順に配置することができる。

- 「18」 上記電子線装置において、上記リレー光学系及びCCD検出器、又は、リレー光学系及びTDI検出器は真空中に配置することができる。
- 25

「19」 上記した電子線装置において、上記画像検出器は、MCP、EB-CCD検出器、または、EB-TDI検出器から構成できる。

「20」 上記電子線装置において、上記試料の電子銃側には2次電子または後方散乱電子を検出する検出器を有することができ、さらに、レンズの焦点距離を

変える事により小寸法のクロスオーバー像を上記試料の試料面上に形成、走査し、試料のレジストレーションを行うことができる。

「21」 上記電子線装置において、上記試料の電子銃側に、2次電子または後方散乱電子を検出する検出器を設けることができ、さらに、二つの成形開口の重なりを小さくして小寸法の電子線を形成し、クロスオーバー像を上記試料の試料面上に形成、走査し、試料のレジストレーションを行うことができる。

「22」 上記電子線装置において、画素当たりの等価周波数を200MHz以上とすることができる。

「23」 上記電子線装置において、上記試料を透過した電子線により得られる画像データと、予め記憶されるパターンデータとを比較して、試料の欠陥検査を行うことができる。

「24」 電子銃から放出された電子線をステンシルマスクに照射し、上記ステンシルマスクを透過した電子を検出して上記ステンシルマスクの欠陥を検出することができる。

「25」 上記電子線装置において、上記電子線は複数の光学系から構成することができる。ここで、「複数の光学系」とは、電子銃を含む照射光学系と、検出センサを含む検出器とを複数備え、この照射光学系と検出器とがそれぞれ対応して配置されている形態をいう。

「26」 上記電子線装置を用いて、欠陥検査を行ったステンシルマスクを使用した半導体デバイスの製造方法を提供することができる。

具体的一例は、以下の各ステップを備える半導体デバイスの製造方法である。

(a) マスクを製造する工程

(b) 製造された前記マスクを上記電子線装置を用いて検査を行う工程

(c) 検査を終えた前記マスクを用いて、各種チップを製造する工程

また、上記電子線装置は、ウエハプロセス工程におけるリソグラフィ工程に用いることもできる。この場合、薄膜層やウエハ基板等を選択的に加工するために上記電子線装置によって検査されたマスクを用いてレジストパターンを形成することができる。

以下、図面を参照して、第1の発明の好ましい実施例について、検査対象とし

て表面にパターンが形成された基板すなわちマスク（例えば、ステンシルマスク）を検査する半導体検査装置として説明する。

図 1 及び図 2 A において、本実施例の半導体検査装置 1 の主要構成要素が立面及び平面で示されている。

- 5 本実施例の半導体検査装置 1 は、複数枚のマスク M を収納したカセットを保持するカセットホルダ 10 と、ミニエンバイロメント装置 20 と、ワーキングチャンバを画成する主ハウジング 30 と、ミニエンバイロメント装置 20 と主ハウジング 30 との間に配置されていて、二つのローディングチャンバを画成するローダハウジング 40 と、マスクをカセットホルダ 10 から主ハウジング 30 内に配置された試料台 50 上に装填するローダー 60 と、主ハウジング 30 に設けられた電子線装置 70 と、を備え、それらは図 1 及び図 2 A に示されるような位置関係で配置されている。

カセットホルダ

- 15 カセットホルダ 10 は、複数枚（例えば 5 枚）のマスク M が上下方向に平行に並べられた状態で収納されたカセット c（例えば、アシスト社製の S M I F、F O U P のようなクローズドカセット）を複数個（この実施例では 2 個）保持するようになっている。このカセットホルダとしては、カセットをロボット等により搬送してきて自動的にカセットホルダ 10 に装填する場合にはそれに適した構造のものを、また人手により装填する場合にはそれに適したオープンカセット構造のものをそれぞれ任意に選択して設置できるようになっている。カセットホルダ 20 10 は、この実施例では、自動的にカセット c が装填される形式であり、例えば昇降テーブル 11 と、その昇降テーブル 11 を上下移動させる昇降機構 12 とを備え、カセット c は昇降テーブル上に図 2 A で鎖線図示の状態で自動的にセット可能になっていて、セット後、図 2 A で実線図示の状態で自動的に回転されてミニ 25 エンバイロメント装置内の第 1 の搬送ユニットの回転軸線に向けられる。また、昇降テーブル 11 は図 1 で鎖線図示の状態で降下される。このように、自動的に装填する場合に使用するカセットホルダ、或いは人手により装填する場合に使用するカセットホルダはいずれも公知の構造のものを適宜使用すれば良いので、その構造及び機能の詳細な説明は省略する。

別の実施の態様では、図 2 B に示すように、複数のマスク基板を箱本体 5 0 1 の内側に固定した溝型ポケット(記載せず)に収納した状態で収容し、搬送、保管等を行うものである。この基板搬送箱 2 4 は、角筒状の箱本体 5 0 1 と基板搬出入ドア自動開閉装置に連絡されて箱本体 5 0 1 の側面の開口部を機械により開閉可能な基板搬出入ドア 5 0 2 と、開口部と反対側に位置し、フィルタ類およびファンモータの着脱を行うための開口部を覆う蓋体 5 0 3 と、基板 W を保持するための溝型ポケット(図示せず)、U L P A フィルタ 5 0 5、ケミカルフィルタ 5 0 6、ファンモータ 5 0 7 とから構成されている。この実施の態様では、ローダー 6 0 のロボット式の第 1 の搬送ユニット 6 1 2 により、基板を出し入れする。

- 10 なお、カセット c 内に収納される基板すなわちマスク M は、検査を受けるマスクであり、そのような検査は、半導体製造工程中でマスクを処理するプロセスの後、若しくはプロセスの途中で行われる。具体的には、成膜工程、エッチング、イオン注入等を受けた基板すなわちマスク、表面にパターンが形成されたマスクが、カセット c 内に収納される。カセット c 内に収容されるマスク M は多数枚上下方向に隔ててかつ平行に並べて配置されているため、任意の位置のマスクと後述する第 1 の搬送ユニットで保持できるように、第 1 の搬送ユニットのアームを上下移動できるようになっている。

ミニエンバイロメント装置

- 図 1 ないし図 3 において、ミニエンバイロメント装置 2 0 は、雰囲気制御されるようになっていくミニエンバイロメント空間 2 1 を画成するハウジング 2 2 と、ミニエンバイロメント空間 2 1 内で清浄空気のような気体を循環して雰囲気制御するための気体循環装置 2 3 と、ミニエンバイロメント空間 2 1 内に供給された空気の一部を回収して排出する排出装置 2 4 と、ミニエンバイロメント空間 2 1 内に配設されていて検査対象としての基板すなわちマスクを粗位置決めするブリアライナー 2 5 とを備えている。

ハウジング 2 2 は、頂壁 2 2 1、底壁 2 2 2 及び四周を囲む周壁 2 2 3 を有していて、ミニエンバイロメント空間 2 1 を外部から遮断する構造になっている。ミニエンバイロメント空間を雰囲気制御するために、気体循環装置 2 3 は、図 3 に示されるように、ミニエンバイロメント空間 2 1 内において、頂壁 2 2 1 に取

り付けられていて、気体（この実施例では空気）を清浄にして一つ又はそれ以上の気体吹き出し口（図示せず）を通して清浄空気を真下に向かって層流状に流す気体供給ユニット 231 と、ミニエンバイロメント空間内において底壁 222 の上に配置されていて、底に向かって流れ下った空気を回収する回収ダクト 232 と、回収ダクト 232 と気体供給ユニット 231 とを接続して回収された空気を気体供給ユニット 231 に戻す導管 233 とを備えている。この実施例では、気体供給ユニット 231 は供給する空気の約 20% をハウジング 22 の外部から取り入れて清浄にするようになっているが、この外部から取り入れられる気体の割合は任意に選択可能である。気体供給ユニット 231 は、清浄空気をつくりだすための公知の構造の H E P A 若しくは U L P A フィルタを備えている。清浄空気の層流状の下方向の流れすなわちダウンスローは、主に、ミニエンバイロメント空間 21 内に配置された後述する第 1 の搬送ユニットによる搬送面を通して流れるように供給され、搬送ユニットにより発生する虞のある塵埃がマスクに付着するのを防止するようになっている。したがって、ダウンスローの噴出口は必ずしも図示のように頂壁に近い位置である必要はなく、搬送ユニットによる搬送面より上側にあればよい。また、ミニエンバイロメント空間全面に亘って流す必要もない。なお、場合によっては、清浄空気としてイオン風を使用することによって清浄度を確保することができる。また、ミニエンバイロメント空間内には清浄度を観察するためのセンサを設け、清浄度が悪化したときに装置をシャットダウンすることもできる。ハウジング 22 の周壁 223 のうちカセットホルダ 10 に隣接する部分には出入り口 225 が形成されている。出入り口 225 近傍には公知の構造のシャッタ装置を設けて出入り口 225 をミニエンバイロメント装置側から閉じるようにしてもよい。マスク近傍でつくる層流のダウンスローは、例えば 0.3 ないし 0.4 m / s e c の流速でよい。気体供給ユニットはミニエンバイロメント空間内でなくその外側に設けてもよい。

排出装置 24 は、前記搬送ユニットのマスク搬送面より下側の位置で搬送ユニットの下部に配置された吸入ダクト 241 と、ハウジング 22 の外側に配置されたブローア 242 と、吸入ダクト 241 とブローア 242 とを接続する導管 243 と、を備えている。この排出装置 24 は、搬送ユニットの周囲を流れ下り搬送

ユニットにより発生する可能性のある塵埃を含んだ気体を、吸入ダクト 2 4 1 により吸引し、導管 2 4 3、2 4 4 及びブローワー 2 4 2 を介してハウジング 2 2 の外側に排出する。この場合、ハウジング 2 2 の近くに引かれた排気管（図示せず）内に排出してもよい。

- 5 ミニエンパイロメント空間 2 1 内に配置されたアライナー 2 5 は、マスクの外形を光学的に或いは機械的に検出してマスクの軸線 O-O の周りの回転方向の位置を約 ± 1 度の精度で予め位置決めしておくようになっている。プリアライナーは請求項に記載された発明の検査対象の座標を決める機構の一部を構成し、検査対象の粗位置決めを担当する。このプリアライナー自体は公知の構造のものでよいので、その構造、動作の説明は省略する。

なお、図示しないが、プリアライナーの下部にも排出装置用の回収ダクトを設けて、プリアライナーから排出された塵埃を含んだ空気を外部に排出するようにしてもよい。

主ハウジング

- 15 図 1 及び図 2 において、ワーキングチャンバ 3 1 を画成する主ハウジング 3 0 は、ハウジング本体 3 2 を備え、そのハウジング本体 3 2 は、台フレーム 3 6 上に配置された振動遮断装置すなわち防振装置 3 7 の上に載せられたハウジング支持装置 3 3 によって支持されている。ハウジング支持装置 3 3 は矩形に組まれたフレーム構造体 3 3 1 を備えている。ハウジング本体 3 2 はフレーム構造体 3 3
- 20 1 上に配設固定されていて、フレーム構造体上に載せられた底壁 3 2 1 と、頂壁 3 2 2 と、底壁 3 2 1 及び頂壁 3 2 2 に接続されて四周を囲む周壁 3 2 3 とを備えていてワーキングチャンバ 3 1 を外部から隔離している。底壁 3 2 1 は、この実施例では、上に載置される試料台等の機器による加重で歪みの発生しないように比較的肉厚の厚い鋼板で構成されているが、その他の構造にしてもよい。この
- 25 実施例において、ハウジング本体及びハウジング支持装置 3 3 は、剛構造に組み立てられていて、台フレーム 3 6 が設置されている床からの振動がこの剛構造に伝達されるのを防振装置 3 7 で阻止するようになっている。ハウジング本体 3 2 の周壁 3 2 3 のうち後述するローダハウジングに隣接する周壁にはマスク出し入れ用の出入り口 3 2 5 が形成されている。

なお、防振装置は、空気バネ、磁気軸受け等を有するアクティブ式のものでも、或いはこれらを有するパッシブ式のものよい。いずれも公知の構造のものでよいので、それ自体の構造及び機能の説明は省略する。ワーキングチャンバ31は公知の構造の真空装置（図示せず）により真空雰囲気に保たれるようになっている。

5 台フレーム36の下には装置全体の動作を制御する制御装置2が配置されている。

ローダハウジング

図1、図2及び図4において、ローダハウジング40は、第1のローディングチャンバ41と第2のローディングチャンバ42とを画成するハウジング本体43を備えている。ハウジング本体43は底壁431と、頂壁432と、四周を囲む周壁433と、第1のローディングチャンバ41と第2のローディングチャンバ42とを仕切る仕切壁434とを有していて、両ローディングチャンバを外部から隔離できるようになっている。仕切壁434には両ローディングチャンバ間でマスクMのやり取りを行うための開口すなわち出入り口435が形成されている。また、周壁433のミニエンバイロメント装置及び主ハウジングに隣接した部分には出入り口436及び437が形成されている。このローダハウジング40のハウジング本体43は、ハウジング支持装置33のフレーム構造体331上に載置されてそれによって支持されている。したがって、このローダハウジング40にも床の振動が伝達されないようになっている。ローダハウジング40の出入り口436とミニエンバイロメント装置のハウジング22の出入り口226とは整合されていて、そこにはミニエンバイロメント空間21と第1のローディングチャンバ41との連通を選択的に阻止するシャッタ装置27が設けられている。シャッタ装置27は、出入り口226及び436の周囲を囲んで側壁433と密に接触して固定されたシール材271、シール材271と協働して出入り口を介しての空気の流通を阻止する扉272と、その扉を動かす駆動装置273とを有している。また、ローダハウジング40の出入り口437とハウジング本体32の出入り口325とは整合されていて、そこには第2のローディングチャンバ42とワーキンググチャンバ31との連通を選択的に密封阻止するシャッタ装置45が設けられている。シャッタ装置45は、出入り口437及び325の周囲を囲んで側壁433及び323と密に接触してそれらに固定されたシール材451、

シール材 4 5 1 と協働して出入り口を介しての空気の流通を阻止する扉 4 5 2 と、その扉を動かす駆動装置 4 5 3 とを有している。更に、仕切壁 4 3 4 に形成された開口には、扉 4 6 1 によりそれを閉じて第 1 及び第 2 のローディングチャンバ間の連通を選択的に密封阻止するシャッタ装置 4 6 が設けられている。これらの
5 シャッタ装置 2 7、4 5 及び 4 6 は、閉じ状態にあるとき各チャンバを気密シールできるようにになっている。これらのシャッタ装置は公知のものでよいので、その構造及び動作の詳細な説明は省略する。なお、ミニエンバイロメント装置 2 0 のハウジング 2 2 の支持方法とローダハウジングの支持方法が異なり、ミニエンバイロメント装置を介して床からの振動がローダハウジング 4 0、主ハウジング
10 3 0 に伝達されるのを防止するために、ハウジング 2 2 とローダハウジング 4 0 との間には出入り口の周囲を気密に囲むように防振用のクッション材を配置しておけば良い。

第 1 のローディングチャンバ 4 1 内には、複数（この実施例では 2 枚）のマスク M を上下に隔てて水平の状態で支持するマスクラック 4 7 が配設されている。
15 マスクラック 4 7 は、図 5 の示されるように、矩形の基板 4 7 1 の四隅に互いに隔てて直立状態で固定された支柱 4 7 2 を備え、各支柱 4 7 2 にはそれぞれ 2 段の支持部 4 7 3 及び 4 7 4 が形成され、その支持部の上にマスク M の周縁を載せて保持するようになっている。そして後述する第 1 及び第 2 の搬送ユニットのアームの先端を隣接する支柱間からマスクに接近させてアームによりマスクを把持
20 するようになっている。

ローディングチャンバ 4 1 及び 4 2 は、図示しない真空ポンプを含む公知の構造の真空排気装置（図示せず）によって高真空状態（真空度としては $10^{-5} \sim 10^{-6}$ Pa）に雰囲気制御され得るようになっている。この場合、第 1 のローディングチャンバ 4 1 を低真空チャンバとして低真空雰囲気に保ち、第 2 のローディングチャンバ 4 2 を高真空チャンバとして高真空雰囲気に保ち、マスクの汚染防
25 止を効果的に行うこともできる。このような構造を採用することによってローディングチャンバ内に収容されていて次に欠陥検査されるマスクをワーキングチャンバ内に遅滞なく搬送することができる。このようなローディングチャンバを採用することによって、後述する電子線装置と共に、欠陥検査のスループットを向

上させ、更に保管状態が高真空状態であることを要求される電子源周辺の真空度を可能な限り高真空度状態にすることができる。

第1及び第2のローディングチャンバ41及び42は、それぞれ真空排気配管と不活性ガス（例えば乾燥純窒素）用のベント配管（それぞれ図示せず）が接続されている。これによって、各ローディングチャンバ内の大気圧状態は不活性ガスベント（不活性ガスを注入して不活性ガス以外の酸素ガス等が表面に付着するのを防止する）によって達成される。このような不活性ガスベントを行う装置自体は公知の構造のものでよいので、その詳細な説明は省略する。

10 なお、電子線を使用する本発明の検査装置において、後述する電子光学系の電子源として使用される代表的な六硼化ランタン（ LaB_6 ）等は一度熱電子を放出する程度まで高温状態に加熱された場合には、酸素等に可能な限り接触させないことがその寿命を縮めないために肝要であるが、電子光学系が配置されているワーキングチャンバにマスクを搬入する前段階で上記のような雰囲気制御を行うことにより、より確実に実行できる。

15 試料台

ステージ装置すなわち試料台50は、主ハウジング30の底壁321上に配置された固定テーブル51と、固定テーブル上でY方向（図1において紙面に垂直の方向）に移動するYテーブル52と、Yテーブル上でX方向（図1において左右方向）に移動するXテーブル53と、Xテーブル上で回転可能な回転テーブル54と、回転テーブル54上に配置されたホルダ55とを備えている。そのホルダ55のマスク載置面551上にマスクMを解放可能に保持する。ホルダは、マスクを機械的に或いは静電チャック方式で解放可能に把持できる公知の構造のものでよい。試料台50は、サーボモータ、エンコーダ及び各種のセンサ（図示せず）を用いて、上記のような複数のテーブルを動作させることにより、載置面551上でホルダに保持されたマスクを電子光学装置から照射される電子ビームに対してX方向、Y方向及びZ方向（図1において上下方向）に、更にマスクの支持面に鉛直な軸線の回り方向（ θ 方向）に高い精度で位置決めできるようになっている。なお、Z方向の位置決めは、例えばホルダ上の載置面の位置をZ方向に微調整可能にしておけばよい。この場合、載置面の基準位置を微細径レーザによ

る位置測定装置（干渉計の原理を使用したレーザ干渉測距装置）によって検知し、その位置を図示しないフィードバック回路によって制御したり、それと共に或いはそれに代えてマスクの外形の位置を測定してマスクの電子ビームに対する平面位置、回転位置を検知し、回転テーブルを微小角度制御可能なステッピングモータなどにより回転させて制御する。ワーキングチャンバ内での塵埃の発生を極力防止するために、試料台用のサーボモータ 5 2 1、5 3 1 及びエンコーダ 5 2 2、5 3 2 は、主ハウジング 3 0 の外側に配置されている。なお、試料台 5 0 は、例えばステッパー等で使用されている公知の構造のもので良いので、その構造及び動作の詳細な説明は省略する。また、上記レーザ干渉測距装置も公知の構造のものでよいので、その構造、動作の詳細な説明は省略する。

電子ビームに対するマスクの回転位置や X、Y 位置を予め後述する信号検出系或いは画像処理系に入力することで得られる信号の基準化を図ることもできる。更に、このホルダに設けられたマスクチャック機構は、マスクをチャックするための電圧を静電チャックの電極に与えられるようになっていて、マスクの外周部の 3 点（好ましくは周方向に等隔に隔てられた）を押さえて位置決めするようになっている。マスクチャック機構は、二つの固定位置決めピンと、一つの押圧式クランクピンとを備えている。クランクピンは、自動チャック及び自動リリースを実現できるようになっており、かつ電圧印加の導通箇所を構成している。

なお、この実施例では図 2 で左右方向に移動するテーブルを X テーブルとし、上下方向に移動するテーブルを Y テーブルとしたが、同図で左右方向に移動するテーブルを Y テーブルとし、上下方向に移動するテーブルを X テーブルとしてもよい。

ローダー

ローダー 6 0 は、ミニエンバイロメント装置 2 0 のハウジング 2 2 内に配置されたロボット式の第 1 の搬送ユニット 6 1 と、第 2 のローディングチャンバ 4 2 内に配置されたロボット式の第 2 の搬送ユニット 6 3 とを備えている。

第 1 の搬送ユニット 6 1 は、駆動部 6 1 1 に関して軸線 $O_1 - O_1$ の回りで回転可能になっている多節のアーム 6 1 2 を有している。多節のアームとしては任意の構造のものを使用できるが、この実施例では、互いに回動可能に取り付けられ

た三つの部分を有している。第1の搬送ユニット61のアーム612の一つの部分すなわち最も駆動部611側の第1の部分は、駆動部611内に設けられた公知の構造の駆動機構（図示せず）により回転可能な軸613に取り付けられている。アーム612は、軸613により軸線 O_1-O_1 の回りで回動できると共に、

5 部分間の相対回転により全体として軸線 O_1-O_1 に関して半径方向に伸縮可能になっている。アーム612の軸613から最も離れた第3の部分の先端には、には公知の構造の機械式チャック又は静電チャック等のマスクを把持する把持装置616が設けられている。駆動部611は、公知の構造の昇降機構615により上下方向に移動可能になっている。

- 10 この第1の搬送ユニット61は、アーム612がカセットホルダに保持された二つのカセットcの内いずれか一方の方向M1又はM2に向かってアームが伸び、カセットc内に収容されたマスクを1枚アームの上に載せ或いはアームの先端に取り付けたチャック（図示せず）により把持して取り出す。その後アームが縮み（図2に示すような状態）、アームがプリアライナー25の方向M3に向かって伸
- 15 長できる位置まで回転してその位置で停止する。するとアームが再び伸びてアームに保持されたマスクをプリアライナー25に載せる。プリアライナーから前記と逆にしてマスクを受け取った後はアームは更に回転し第2のローディングチャンバ41に向かって伸長できる位置（向きM4）で停止し、第2のローディングチャンバ41内のマスク受け47にマスクを受け渡す。なお、機械的にマスクを
- 20 把持する場合にはマスクの周縁部（周縁から約5mmの範囲）を把持する。これはマスクには周縁部を除いて全面にパターン（回路配線）が形成されており、この部分を把持するとパターンの破壊、欠陥の発生を生じさせるからである。

第2の搬送ユニット63も第1の搬送ユニットと構造が基本的に同じであり、マスクの搬送をマスクラック47と試料台の載置面上との間で行う点でのみ相違

25 するだけであるから、詳細な説明は省略する。

上記ローダー60では、第1及び第2の搬送ユニット61及び63は、カセットホルダに保持されたカセットからワーキングチャンバ31内に配置された試料台50上への及びその逆のマスクの搬送をほぼ水平状態に保ったままで行い、搬送ユニットのアームが上下動するのは、単に、マスクのカセットからの取り出し

及びそれへの挿入、マスクのマスクラックへの載置及びそこからの取り出し及びマスクの試料台への載置及びそこからの取り出しのときだけである。したがって、大型のマスク、例えば直径30cmのマスクの移動もスムーズに行うことができる。

5 マスクの搬送

次にカセットホルダに支持されたカセットcからワーキングチャンバ31内に配置された試料台50までへのマスクの搬送を順を追って説明する。

カセットホルダ10は、前述のように人手によりカセットをセットする場合にはそれに適した構造のものが、また自動的にカセットをセットする場合にはそれに適した構造のものが使用される。この実施例において、カセットcがカセットホルダ10の昇降テーブル11の上にセットされると、昇降テーブル11は昇降機構12によって降下されカセットcが出入り口225に整合される。

カセットが出入り口225に整合されると、カセットに設けられたカバー（図示せず）が開きまたカセットcとミニエンバイロメントの出入り口225との間には筒状の覆いが配置されてカセット内及びミニエンバイロメント空間内を外部から遮断する。これらの構造は公知のものであるから、その構造及び動作の詳細な説明は省略する。なお、ミニエンバイロメント装置20側に出入り口225を開閉するシャッタ装置が設けられている場合にはそのシャッタ装置が動作して出入り口225を開く。

一方第1の搬送ユニット61のアーム612は方向M1又はM2のいずれかに向いた状態（この説明ではM1の方向）で停止しており、出入り口225が開くとアームが伸びて先端でカセット内に収容されているマスクのうち1枚を受け取る。なお、アームと、カセットから取り出されるべきマスクとの上下方向の位置調整は、この実施例では第1の搬送ユニット61の駆動部611及びアーム612の上下移動で行うが、カセットホルダの昇降テーブルの上下動で行っても或いはその両者で行ってもよい。

アーム612によるマスクの受け取りが完了すると、アームは縮み、シャッタ装置を動作して出入り口を閉じ（シャッタ装置がある場合）、次にアーム612は軸線 O_1-O_1 の回りで回動して方向M3に向けて伸長できる状態になる。すると、

アームは伸びて先端に載せられ或いはチャックで把持されたマスクをプリアライナー 2 5 の上に載せ、そのプリアライナーによってマスクの回転方向の向き（マスク平面に垂直な中心軸線の回りの向き）を所定の範囲内に位置決めする。位置決めが完了すると搬送ユニット 6 1 はアームの先端にプリアライナー 2 5 からマスクを受け取ったのちアームを縮ませ、方向 M 4 に向けてアームを伸長できる姿勢になる。するとシャッタ装置 2 7 の扉 2 7 2 が動いて出入り口 2 2 6 及び 4 3 6 を開き、アーム 6 1 2 が伸びてマスクを第 1 のローディングチャンバ 4 1 内のマスクラック 4 7 の上段側又は下段側に載せる。なお、前記のようにシャッタ装置 2 7 が開いてマスクラック 4 7 にマスクが受け渡される前に、仕切壁 4 3 4 に形成された開口 4 3 5 はシャッタ装置 4 6 の扉 4 6 1 により気密状態で閉じられている。

上記第 1 の搬送ユニットによるマスクの搬送過程において、ミニエンバイロメント装置のハウジングの上に設けられた気体供給ユニット 2 3 1 からは清浄空気が層流状に流れ（ダウフローとして）、搬送途中で塵埃がマスクの上面に付着するのを防止する。搬送ユニット周辺の空気の一部（この実施例では供給ユニットから供給される空気の約 2 0 % で主に汚れた空気）は排出装置 2 4 の吸入ダクト 2 4 1 から吸引されてハウジング外に排出される。残りの空気はハウジングの底部に設けられた回収ダクト 2 3 2 を介して回収され再び気体供給ユニット 2 3 1 に戻される。

ローダハウジング 4 0 の第 1 のローディングチャンバ 4 1 内のマスクラック 4 7 内に第 1 の搬送ユニット 6 1 によりマスクが載せられると、シャッタ装置 2 7 が閉じて、ローディングチャンバ 4 1 内を密閉する。すると、第 1 のローディングチャンバ 4 1 内には不活性ガスが充填されて空気が追い出された後、その不活性ガスも排出されてそのローディングチャンバ 4 1 内は真空雰囲気になる。この第 1 のローディングチャンバの真空雰囲気は低真空度でよい。ローディングチャンバ 4 1 内の真空度がある程度得られると、シャッタ装置 4 6 が動作して扉 4 6 1 で密閉していた出入り口 4 3 4 を開き、第 2 の搬送ユニット 6 3 のアーム 6 3 2 が伸びて先端の把持装置でマスク受け 4 7 から 1 枚のマスクを受け取る（先端の上に載せて或いは先端に取り付けられたチャックで把持して）。マスクの受け

取りが完了するとアームが縮み、シャッタ装置 4 6 が再び動作して扉 4 6 1 で出入り口 4 3 5 を閉じる。なお、シャッタ装置 4 6 が開く前にアーム 6 3 2 は予めマスクラック 4 7 の方向 N 1 に向けて伸長できる姿勢になる。また、前記のようにシャッタ装置 4 6 が開く前にシャッタ装置 4 5 の扉 4 5 2 で出入り口 4 3 7、

5 3 2 5 を閉じていて、第 2 のローディングチャンバ 4 2 内とワーキングチャンバ 3 1 内との連通を気密状態で阻止しており、第 2 のローディングチャンバ 4 2 内は真空排気される。

シャッタ装置 4 6 が出入り口 4 3 5 を閉じると、第 2 のローディングチャンバ内は再度真空排気され、第 1 のローディングチャンバ内よりも高真空度で真空に

10 される。その間に、第 2 の搬送ユニット 6 1 のアームはワーキングチャンバ 3 1 内の試料台 5 0 の方向に向いて伸長できる位置に回転される。一方ワーキングチャンバ 3 1 内の試料台では、Y テーブル 5 2 が、X テーブル 5 3 の中心線 $X_0 - X_0$ が第 2 の搬送ユニット 6 3 の回動軸線 $O_2 - O_2$ を通る X 軸線 $X_1 - X_1$ とほぼ一致する位置まで、図 2 で上方に移動し、また、X テーブル 5 3 は図 2 で最も左

15 側の位置に接近する位置まで移動し、この状態で待機している。第 2 のローディングチャンバがワーキングチャンバの真空状態と略同じになると、シャッタ装置 4 5 の扉 4 5 2 が動いて出入り口 4 3 7、3 2 5 を開き、アームが伸びてマスクを保持したアームの先端がワーキングチャンバ 3 1 内の試料台に接近する。そして試料台 5 0 の載置面 5 5 1 上にマスクを載置する。マスクの載置が完了すると

20 アームが縮み、シャッタ装置 4 5 が出入り口 4 3 7、3 2 5 を閉じる。

以上は、カセット c 内のマスクを試料台上に搬送するまでの動作に付いて説明したが、試料台に載せられて処理が完了したマスクを試料台からカセット c 内に戻すには前述と逆の動作を行って戻す。また、マスクラック 4 7 に複数のマスク

25 を載置しておくため、第 2 の搬送ユニットでマスクラックと試料台との間でマスクの搬送を行う間に、第 1 の搬送ユニットでカセットとマスクラックとの間でマスクの搬送を行うことができ、検査処理を効率良く行うことができる。

具体的には、第 2 の搬送ユニットのマスクラック 4 7 に、既に処理済のマスク A と未処理のマスク B がある場合、

(1) まず、試料台 5 0 に未処理のマスク B を移動し、処理を開始する。

(2) この処理中に、処理済マスク A を、アームにより試料台 5 0 からマスクラック 4 7 に移動し、未処理のマスク C を同じくアームによりマスクラックから抜き出し、プリアライナで位置決めした後、ローディングチャンバ 4 1 のマスクラック 4 7 に移動する。

- 5 このようにすることで、マスクラック 4 7 の中は、マスク B を処理中に、処理済のマスク A が未処理のマスク C に置き換えることができる。

また、検査や評価を行うこのような装置の利用の仕方によっては、試料台 5 0 を複数台並列に置き、それぞれの装置に一つのマスクラック 4 7 からマスクを移動することで、複数枚のマスクを同じ処理することもできる。

- 10 図 6 において、主ハウジングの支持方法の変形例 3 0 b が示されている。図 6 に示された変形例では、ハウジング支持装置 3 3 b のフレーム構造体 3 3 6 b によりハウジング本体 3 2 b 及びローダハウジング 4 0 b を吊り下げて状態で支持するようになっている。フレーム構造体 3 3 6 b に固定された複数の縦フレーム 3 3 7 b の下端は、ハウジング本体 3 2 b の底壁 3 2 1 b の四隅に固定され、
- 15 その底壁により周壁及び頂壁を支持するようになっている。そして防振装置 3 7 b は、フレーム構造体 3 3 6 b と台フレーム 3 6 b との間に配置されている。また、ローダハウジング 4 0 もフレーム構造体 3 3 6 に固定された吊り下げ部材 4 9 b によって吊り下げられている。ハウジング本体 3 2 b のこの図 6 に示された変形例では、吊り下げ式に支えるので主ハウジング及びその中に設けられた各種
- 20 機器全体の低重心化が可能である。上記変形例を含めた主ハウジング及びローダハウジングの支持方法では主ハウジング及びローダハウジングに床からの振動が伝わらないようになっている。

- 図示しない別の変形例では、主ハウジングのハウジング本外のみがハウジング支持装置によって下から支えられ、ローダハウジングは隣接するミニエンバイロメント装置と同じ方法で床上に配置され得る。また、図示しない更に別の変形例では、主ハウジングのハウジング本体のみがフレーム構造体に吊り下げ式で支持され、ローダハウジングは隣接するミニエンバイロメント装置と同じ方法で床上に配置され得る。
- 25

上記の実施例によれば、次のような効果を奏することが可能である。

(a) 電子線を用いた写像投影方式の検査装置の全体構成が得られ、高いスループットで検査対象を処理することができる。

(b) ミニエンバイロメント空間内で検査対象に清浄気体を流して塵埃の付着を防止すると共に清浄度を観察するセンサを設けることによりその空間内の塵埃を監視しながら検査対象の検査を行うことができる。

(c) ローディングチャンバ及びワーキングチャンバを一体的に振動防止装置を介して支持したので外部の環境に影響されずに試料台への検査対象の供給及び検査を行うことができる。

電子線装置

- 10 主ハウジング30又は30bに設けられた電子線装置70(図1及び図6参照)のより詳細な実施例を図7に示す。図7は、下側に試料としてのマスクM、例えばステンシルマスク800を照射する電子銃711などを備えた照射光学系710を配し、この照射光学系710の上には、試料台50に支持されるステンシルマスク800と、更にその上側に、このステンシルマスクを透過した電子線を検出する検出器770を配置する。以下説明する実施例は、下部に位置する電子銃711から上向きに電子線が照射される実施例である。もちろん、上部に電子銃711を配置して下向きに電子線を照射する実施例を採用してもよい。

- 電子銃711は、電子放出材(カソード)711aを加熱することにより電子を放出する熱電子放出タイプが用いられている。カソードとしての電子放出材(エミッタ)は、ランタンヘキサボライド(LaB_6)が用いられている。高融点(高温での蒸気圧が低い)で仕事関数の小さい材料であれば、他の材料を使用することが可能である。本実施例においては、電子銃711は、先端曲率半径 $15\mu\text{m}$ Rと小さい単結晶 LaB_6 カソード711aを有し、空間電荷制限条件で動作させる事により、高輝度でしかもショット雑音の小さい電子線を放出することができるようにになっている。

また、ウェーネルト711bとアノード711c間の距離を8mm以上に大きくし、電子銃電流を高輝度になる条件を探せば輝度をラングミュア制限より大きい値にすることもできる。

このように、本実施例における電子銃711は、熱電子放出カソード711a

を有し、空間電荷制限条件にて動作するものが望ましい。また、電子銃711には、FE（フィールドエミッタ）、TFE（サーマルフィールドエミッタ）、ショットキーカソードを有する光源像の小さな電子銃711を用いてもよい。なお、上記「空間電荷制限条件」とは、カソードの温度をある一定以上に高めて、電子線の放出量がカソードの温度に影響されにくい条件をいう。

上記電子銃711の照射方向に向けて（図中上向き）、第1の成形開口713、第1の電子レンズ715が設けられている。第1の電子レンズ715は、第1の成形開口713を通過した像を第2の成形開口719（後述）に結像させる。この第1の電子レンズ715の上側であって、電子線の照射経路の周囲に第1の偏向器717が設けられている。更に、第1の偏向器717の上側に、第2の成形開口719、第1のコンデンサレンズ721、第3の形成開口723が設けられていると共に、この第3の形成開口723の周囲に第2の偏向器725が設けられている。

電子銃711から放出された電子線は、第1の成形開口713と第2の成形開口719とを通ることにより所望の形状に成形された可変成形ビームとなり、ステンシルマスク800の被検査領域のある瞬間での領域が照射される。この点についてさらに説明すると、第1の成形開口716を通過してきた電子線は、偏向器717で偏向させられ、これにより、第2の成形開口719への照射位置が変わり、電子線を所望の形状に成形できるようになっている。具体的には、所定面積を有する細長い矩形状の電子線が成形されるようにすることが好ましい。もっとも、正形状の電子線を成形するようにしてもよい。

このように本実施例においては、第1の偏向器717を調節することにより、照射領域を調整することが可能であるが、第1と第2の成形開口713、719を寸法の異なる複数個の開口で代用させ、機械的に照射領域を調整してもよい。

なお、マスクを照明する方式は図ではケーラ照明方式としたが、クリティカル照明でも問題はない。

上記したように、本実施例における照射光学系710においては、少なくとも1個の成形開口713、719を有し、該成形開口の像を試料であるステンシルマスク800の面上に結像させる形態が望ましい。また、光軸801の近くに上

記成形開口 7 1 3、7 1 9 を複数有し、かつ、この成形開口 7 1 3、7 1 9 の相互の重なりを変化させることにより試料であるステンシルマスク 8 0 0 を照射する面積を変更可能とする形態も望ましい。

5 上記第 3 の成形開口 7 2 3 はステンシルマスク 8 0 0 を照明する電子線の平行度を良くするためのものでここに電子銃 7 1 1 が作るクロスオーバ像が結像される。走査手段としての第 2 の偏向器 7 2 5 は、主視野内を仮想的に分割し、ステップアンドリピートのあるいは連続的に照明領域を移動させ、その移動に応じてステンシルマスク 8 0 0 を透過した後の光学系の像面湾曲収差と非点収差を補正する場合に必要な偏向器である。この点について、より詳細に説明すると、第 2
10 の偏向器 7 2 5 は、電子線のマスク上位置をステップアンドリピートのあるいは連続的に移動させる。例えば、第 2 の偏向器 7 2 5 により、一次電子ビームは、+X 方向と -X 方向に走査させられる。この場合、マスク 8 0 0 を保持する試料台 5 0 を +Y 方向と -Y 方向に移動させる。これにより、マスク 8 8 全体を走査することができる。像面湾曲収差と非点収差とを補正するために、電子線の位置
15 に応じてタブレットレンズ（マスク 8 0 0 の下流側にある電子レンズ 7 3 1 a、7 3 1 b）7 3 1 に加える電圧条件を変更する。例えば、像面湾曲収差を補正するために、電子線が光軸にあるとき、レンズに加える電圧を高くして焦点距離が短くなるようにし、電子線が光軸から離れた端にあるとき、レンズに加える電圧を低くして焦点距離が長くなるようにする。

20 第 2 の偏向器 7 2 5 は、上記補正を行わない場合でも、ステンシルマスク 8 0 0 の面上を走査し、その SEM 像を得たりして、レジストレーションを行うのに使用することもできる。そのようなレジストレーションを行う場合、ステンシルマスク 8 0 0 の電子銃 7 1 1 側に検出器 7 2 7 を設け、電子線（換言すれば、一次電子線）のステンシルマスク 8 0 0 への入射により放出される二次電子や反射
25 される反射電子を検出器 7 2 7 で検出するようにすることが好ましい。

なお、上記各種レンズ（7 1 5、7 2 1）のいずれかの焦点距離を変えることにより小径のクロスオーバ像を、ステンシルマスク 8 0 0 の試料面上に形成、走査するようにしてもよい。また、上記第 1 と第 2 の成形開口（7 1 3、7 1 9）の重なりを小さくして小径の電子線を形成し、この電子線を走査させるレジスト

レーションに利用するようにしてもよい。

上記成形開口 7 1 3、7 1 9 を通過し、試料であるステンシルマスク 8 0 0 を照射する電子線の照射領域は、長辺と短辺を有する長方形形状が望ましい。そして、第 2 の偏向器 7 2 5 により上記照射領域の長辺方向の移動を行い、上記試料台 5 0 を短辺方向に移動させることで、上記照射領域の短辺方向の連続移動を行う。試料台を連続移動させながら検査を行うので、主視野の幅が小さくても高スループットで検査が行える。

ステンシルマスク 8 0 0 を照射する電子線（図中、その主光線を B 1、B 2、B 3 と示す）は、ステップ的に走査しても、連続的に走査してもよい。

10 上記ステンシルマスク 8 0 0 の上方側換言すれば下流側には、第 1 のダブレットレンズ 7 3 1 が配置されており、第 1 のダブレットレンズ 7 3 1 は 2 つの電子レンズ 7 3 1 a、7 3 1 b から構成されている。第 1 のダブレットレンズ 7 3 1 の間には、NA 開口 7 3 3 が設けられている。第 1 のダブレットレンズ 7 3 1 の上方側には、第 2 のダブレットレンズ 7 3 5 が設けられており、更に、第 2 のダブレットレンズ 7 3 5 の下流側には検出器 7 7 0 が設けられている。

15 第 2 のダブレットレンズ 7 3 5 は、2 つの電子レンズ 7 3 5 a、7 3 5 b から構成されている。

ステンシルマスク 8 0 0 を透過した電子線は、照射の開口角 α' と同じ角度（図中、符号 α と明記する。）で広がり第 1 のダブレットレンズ 7 3 1 に入射する。この時、ステンシルマスク 8 0 0 の側面で散乱された電子は、前記 NA 開口 7 3 3 により取り除かれる。また、X 線マスクの様に薄いメンブレン上にパターンが形成されているマスクを検査する場合には、メンブレンで大きい角度で散乱された電子線をこの NA 開口で取り除く作用がある。第 1 のダブレットレンズ 7 3 1 を通過後、ステンシルマスクの透過像が形成される。この透過像を形成する領域を透過像形成領域 7 3 7 と示す。形成された透過像はさらに第 2 のダブレットレンズ 7 3 5 で拡大され、検出器 7 7 0 を照射する。

20

25

検出器 7 7 0 は、照射レンズ系としての MCP（マルチチャンネルプレート）7 7 1 と、FOP（ファイバオプティカルプレート）7 7 5 とを備えている。電子線が照射される方向（図中上向き）に沿って、MCP 7 7 1 及び FOP 7 7 5

の順で設けられている。検出器 770 は、更に、照射レンズ系としての真空窓 777 と、リレー光学系としての光学レンズ 779、複数の画素を有する検出センサとしての TDI 検出器 781 とを備えている。第 2 のダブルットレンズ 735 で拡大されたステンシルマスクの透過像は、約 1,000 倍に拡大されて MCP 771 に照射され、MCP 771 にこの約 1,000 倍の拡大像が形成される。この拡大像は MCP 771 で増倍され、この MCP 771 で増倍された像を形成する電子線は、FOP 775 の試料側に塗られたシンチレータで光の像に変えられる。その像は真空窓 777 で大気外に取り出され光学レンズ 779 で倍率を縮小され、TDI 検出器 781 に結像される。なお、このように光学レンズ 779 を用いる形態では、必ずしも FOP を用いる必要はない。

上記構成により、一次電子線を斜め上方から入射させ E×B 分離器を用いて試料に垂直入射させ、試料から放出された二次電子線が一次電子線の入射光路と共通の光路を通る方式に比べて、この光学系では照射ビームと透過ビームは共通の光路を通らないので、空間電荷効果による透過ビームのボケは大幅に改善される。ステンシルマスクを透過した電子は 100% 近く結像に寄与するので S/N 比の良い信号が得られる。

本実施例における電子線装置は、検出器 770 により検出された電子から、試料であるステンシルマスク 800 の欠陥を検出することに利用可能である。

上記したように、本実施例においては、試料を通過した電子線を上記電子レンズ（ダブルットレンズ 731、737）で拡大し、これを複数の画素を有する検出器 770 で検出して試料の画像を形成する。更に、本実施例は、検出器 770 を照射する電子線が平行度の良い電子線であることを特徴とし、そのための具体的構成として、上記第 1 のダブルットレンズ 731 の間であって、かつ、電子線の主光線 B1、B2、B3 の主光線が交わる位置に NA 開口 733 を設ける。そして、この NA 開口 733 を通過した電子線で検出器 770 を照射する。

この NA 開口 733 を設ける望ましい実施例は、上記したとおり二つのダブルットレンズ 731、737 と一枚の成形開口（第 2 の成形開口 719）を有し、かつ、上記成形開口から出た主光線（B1、B2、B3）が試料（ステンシルマスク 800）に平行に照射される形態である。更に、上記照射光学系 710 は、

照射レンズ系としてのMCP 771と真空窓775の入射ひとみを上記第3の成形開口723に有し、光源像は上記入射ひとみに結像されている。

本発明の望ましい実施例は、上記ダブルットレンズ731、737の拡大率を、上記電子線の照射領域の大きさに対応させて可変とする。可変とする具体的構成
5 としては、ダブルットレンズを交換するほか、一組のダブルットレンズにおいて、前後のレンズの距離を調節する、また、第1と第2のダブルットレンズ731、737の相互距離を調節する形態などで実施可能である。

上記検出器770における検出センサには、CCD検出器（CCDセンサ）を用いることが可能であり、シンチレータが作る像の大きさを光学レンズ779で
10 調節してCCD検出器におけるCCD面に結像させることも可能である。CCD検出器を用いることで安価に製造可能となるといった利点がある。

本発明における電子線装置の望ましい構成例を以下説明する。

（1） 上記電子銃711を試料の下側に、上記検出器770を試料の上側に配置する。

15 （2） 電子銃711と検出器770との間に、上記電子線を拡大する拡大レンズを複数備える。上記実施例では、二つのダブルットレンズ（731、737）を設ける。そして、試料を通過した電子線を最初に拡大するレンズをダブルットレンズとする。上記実施例では、第1のダブルットレンズ731が該当する。これにより、倍率の色収差と歪が補正されボケが小さく歪の小さい像が得られる。

20 （3） 検出器770において、MCP 771とFOP 775の試料側に設けられたシンチレータを真空中とし、その後方に真空窓777、リレー光学系としての光学レンズ779、検出センサ（CCD検出器、TDI検出器781）の順に配置する。

（4） 検出器770において、リレー光学系及びCCD検出器、または、リ
25 レー光学系及びTDI検出器を真空中に配置する。また、本発明の実施例としては、電子線装置全体、もしくは、検出器770全体を真空中に配置してもよい。

（5） 検出器770における検出センサには、EB-CCD検出器、EB-TDI検出器などを用いてもよい。

（6） 上記電子線装置では、複数の画素から同時に信号を取るので、各画素

を100KHzで動作させても、2000個の画素から同時に信号を取ると装置の等価周波数は200MHz以上となる。

(7) 一つの電子線装置において、複数の照射光学系700と、複数の検出器770を設け、照射光学系と検出器とをそれぞれ対応させて、試料の欠陥を検出する。

検査装置の変形例

図8は、本発明の変形例による欠陥検査装置の概略構成を示す。

この欠陥検査装置は、上述した電子線装置(図7)70を用いた検査装置である。

この検査装置は、図8中右側に示す制御部1016と、図8中左側に示す電子線装置70により構成される。電子線装置は図7と同様に、電子線を放出する電子銃711を含む照射光学系710を下部に設け、その上に試料としてのステンシルマスク800とそれを支える試料台50を設ける。更に、放出された電子線を拡大する拡大レンズとしてのダブレットレンズ731、737を設け、最上部に検出器770を設ける。そして、この検出器770は、装置全体を制御すると共に、検出器770により検出された電子画像に基づいてステンシルマスク800の欠陥を検出する処理を実行する制御部1016に接続される。

検出器770は、結像された電子画像を後処理可能な信号に変換することができる限り、任意の構成とすることができる。例えば、図9にその詳細を示すように、検出器770は、蛍光面772と、リレー光学系773と、多数のCCD素子からなる撮像センサ775と、を含んで構成することができる。蛍光面772は、増幅された電子によって蛍光を発することにより電子を光に変換する。リレーレンズ773がこの蛍光をCCD撮像センサ775に導き、CCD撮像センサ775は、ステンシルマスク800表面上の電子の強度分布を素子毎の電気信号即ちデジタル画像データに変換して制御部1016に出力する。

制御部1016は、図8に例示されたように、汎用的なパーソナルコンピュータ等から構成することができる。このコンピュータは、所定のプログラムに従って各種制御、演算処理を実行する制御部本体1014と、本体1014の処理結果を表示するCRT1015と、オペレータが命令を入力するためのキーボードやマウス等の入力部1018と、を備える、勿論、欠陥検査装置専用のハードウ

エア、或いは、ワークステーションなどから制御部 1016 を構成してもよい。

制御部本体 1014 は、図示しない CPU、RAM、ROM、ハードディスク、ビデオ基板等の各種制御基板等から構成される。RAM 若しくはハードディスクなどのメモリ上には、検出器 770 から受信した電気信号即ちステンシルマスク 800 を透過した電子画像のデジタル画像データを記憶するための電子画像記憶領域 1008 が割り当てられている。また、ハードディスク上には、予め欠陥の存在しない試料（ステンシルマスク）の基準画像データを記憶しておく基準画像記憶部 1013 が存在する。更に、ハードディスク上には、欠陥検査装置全体を制御する制御プログラムの他、記憶領域 1008 から電子画像データを読み出し、
10 該画像データに基づき所定のアルゴリズムに従ってステンシルマスク 800 の欠陥を自動的に検出する欠陥検出プログラム 1009 が格納されている。この欠陥検出プログラム 1009 は、詳細を更に後述するように、基準画像記憶部 1013 から読み出した基準画像と、実際に検出された電子線画像とをマッチングして、欠陥部分を自動的に検出し、欠陥有りと判定した場合、オペレータに警告表示する機能を有する。このとき、CRT 1015 の表示部に電子画像 1017 を表示
15 するようにしてもよい。

次に、該実施例による欠陥検査装置の作用を図 10 乃至図 12 のフローチャートを例にして説明する。

まず、図 10 のメインルーチンの流れに示すように、検査対象となるステンシルマスク 800 を試料台 50 の上にセットする（ステップ 1300）。これは、前述したようにローダーに多数格納されたマスク全てを一枚毎に自動的に試料台 50 にセットする形態であってもよい。

次に、ステンシルマスク 800 表面の XY 平面上で部分的に重なり合いながら互いから変位された複数の被検査領域の画像を各々取得する（ステップ 1304）。
25 これら画像取得すべき複数の被検査領域とは、図 13 に示すように、例えばマスク検査表面 1034 上に、参照番号 1032 a、1032 b、... 1032 k、... で示す矩形領域のことであり、これらは、マスクの検査パターン 1030 の回りで、部分的に重なり合いながら位置がずらされていることがわかる。例えば、図 14 に示されたように、16 個の被検査領域の画像 1032（被検査画像）が取得

される。ここで、図 1 4 に示す画像は、矩形の枠目が 1 画素（或いは、画素より大きいブロック単位でもよい）に相当し、このうち黒塗りの枠目がステンシルマスク 8 0 0 上のパターンの画像部分に相当する。このステップ 1 3 0 4 の詳細は図 1 1 のフローチャートで後述する。

- 5 次に、ステップ 1 3 0 4 で取得した複数の被検査領域の画像データを記憶部 1 0 1 3 に記憶された基準画像データ（パターンデータ）と、各々比較照合し（図 1 0 のステップ 1 3 0 8）、上記複数の被検査領域により網羅されるマスク検査面に欠陥が有るか否かが判定される。この工程では、いわゆる画像データ同士のマッチング処理を実行するが、その詳細については図 1 2 のフローチャートで後述する。

- 10 ステップ 1 3 0 8 の比較結果より、上記複数の被検査領域により網羅されるマスク検査面に欠陥が有ると判定された場合（ステップ 1 3 1 2 肯定判定）、オペレータに欠陥の存在を警告する（ステップ 1 3 1 8）。警告の方法として、例えば、C R T 1 0 1 5 の表示部に欠陥の存在を知らせるメッセージを表示したり、これ
15 と同時に欠陥の存在するパターンの拡大画像 1 0 1 7 を表示してもよい。このような欠陥マスクを直ちに試料室 3 1 から取り出し、欠陥の無いマスクとは別の保管場所に格納してもよい（ステップ 1 3 1 9）。

- 20 ステップ 1 3 0 8 の比較処理の結果、ステンシルマスク 8 0 0 に欠陥が無いと判定された場合（ステップ 1 3 1 2 否定判定）、現在検査対象となっているステンシルマスク 8 0 0 について、検査すべき領域が未だ残っているか否かが判定される（ステップ 1 3 1 4）。検査すべき領域が残っている場合（ステップ 1 3 1 4 肯定判定）、試料台 5 0 を駆動し、これから検査すべき他の領域が電子線の照射領域内に入るようにステンシルマスク 8 0 0 を移動させる（ステップ 1 3 1 6）。その後、ステップ 1 3 0 2 に戻って当該他の検査領域に関して同様の処理を繰り返す。

- 25 検査すべき領域が残っていない場合（ステップ 1 3 1 4 否定判定）、或いは、欠陥マスクの抜き取り工程（ステップ 1 3 1 9）の後、現在検査対象となっているステンシルマスク 8 0 0 が、最終のマスクであるか否か、即ち図示しないローダーに未検査のマスクが残っていないか否かが判定される（ステップ 3 2 0）。最終のマスクでない場合（ステップ 1 3 2 0 否定判定）、検査済みマスクを所定の格納

箇所保管し、その代わりに新しい未検査のマスクを試料台50にセットする(ステップ1322)。その後、ステップ1302に戻って当該マスクに関して同様の処理を繰り返す。最終のマスクであった場合(ステップ1320肯定判定)、検査済みマスクを所定の格納箇所に保管し、全工程を終了する。

- 5 次に、ステップ1304の処理の流れを図11のフローチャートに従って説明する。

図11では、まず、画像番号*i*を初期値1にセットする(ステップ1330)。この画像番号は、複数の被検査領域画像の各々に順次付与された識別番号である。

- 次に、セットされた画像番号*i*の被検査領域について画像位置(X_i , Y_i)を決定する(ステップ1332)。この画像位置は、被検査領域を画定させるための該領域内の特定位置、例えば該領域内の中心位置として定義される。現時点では、 $i = 1$ であるから画像位置(X_1 , Y_1)となり、これは例えば図13に示された被検査領域1032aの中心位置に該当する。全ての被検査画像領域の画像位置は予め定められており、例えば制御部1016のハードディスク上に記憶され、
- 10
- 15
- ステップ1332で読み出される。

次に、図8の照射光学系710の第2の偏向器725(図7参照)を通過する電子線が、ステップ1332で決定された画像位置(X_i , Y_i)の被検査画像領域に照射されるように、第2の偏向器725に電位を加える(図11のステップ1334)。

- 20 次に、電子銃711から電子線を放出し、セットされたステンシルマスク800表面上に照射する(ステップ1336)。このとき、電子線は、第2の偏向器725の作り出す電場によって偏向され、マスク検査表面1034上の画像位置(X_i , Y_i)の被検査画像領域全体に亘って照射される。画像番号*i* = 1の場合、被検査領域は1032aとなる。

- 25 ステンシルマスク800を透過した電子線は、ダブレットレンズ731、737により所定の倍率で検出器770に結像される。検出器770は、結像された電子線を検出し、検出素子毎の電気信号即ちデジタル画像データに変換出力する(ステップ1338)。そして、検出した画像番号*i*のデジタル画像データを電子画像記憶領域1008に転送する(ステップ1340)。

次に、画像番号 i を 1 だけインクリメントし（ステップ 1 3 4 2）、インクリメントした画像番号（ $i + 1$ ）が一定値 i_{MAX} を越えているか否かを判定する（ステップ 1 3 4 4）。この i_{MAX} は、取得すべき被検査画像の数であり、図 1 4 の上述した例では、「1 6」である。

- 5 画像番号 i が一定値 i_{MAX} を越えていない場合（ステップ 1 3 4 4 否定判定）、再びステップ 1 3 3 2 に戻り、インクリメントした画像番号（ $i + 1$ ）について画像位置（ X_{i+1} , Y_{i+1} ）を再び決定する。この画像位置は、前のルーチンで決定した画像位置（ X_i , Y_i ）から X 方向及び／又は Y 方向に所定距離（ ΔX_i , ΔY_i ）だけ移動させた位置である。図 8 の例では、被検査領域は、（ X_1 , Y_1 ）から Y 方向にのみ移動した位置（ X_2 , Y_2 ）となり、破線で示した矩形領域 1 0 3 2 b となる。なお、（ ΔX_i , ΔY_i ）（ $i = 1, 2, \dots, i_{MAX}$ ）の値は、マスク検査面 1 0 3 4 のパターン 1 0 3 0 が検出器 7 7 0 の視野から実際に経験的にどれだけずれるかというデータと、被検査領域の数及び面積から適宜定めておくことができる。
- 10

- そして、ステップ 1 3 3 2 乃至 1 3 4 2 の処理を i_{MAX} 個の被検査領域について順次繰り返し実行する。これらの被検査領域は、図 1 3 に示すように、 k 回移動した画像位置（ X_k , Y_k ）では被検査画像領域 1 0 3 2 k となるように、ステンスルマスク 8 0 0 の検査面 1 0 3 4 上で、部分的に重なり合いながら位置がずらされていく。このようにして、図 1 4 に例示した 1 6 個の被検査画像データが画像記憶領域 1 0 0 8 に取得される。取得した複数の被検査領域の画像 1 0 3 2
- 15
- 20 （被検査画像）は、図 1 4 に例示されたように、マスク検査面 1 0 3 4 上のパターン 1 0 3 0 の画像 1 0 3 0 a を部分的若しくは完全に取り込んでいることがわかる。

- インクリメントした画像番号 i が i_{MAX} を越えた場合（ステップ 1 3 4 4 肯定判定）、このサブルーチンをリターンして図 3 6 のメインルーチンの比較工程（ステップ 3 0 8）に移行する。
- 25

なお、ステップ 1 3 4 0 でメモリ転送された画像データは、検出器 7 7 0 により検出された各画素毎の電子の強度値（いわゆるベタデータ）からなるが、後段の比較工程（図 3 6 のステップ 1 3 0 8）で基準画像とマッチング演算を行うため、様々な演算処理を施した状態で記憶領域 1 0 0 8 に格納しておくことができ

る。このような演算処理には、例えば、画像データのサイズ及び／又は濃度を基準画像データのサイズ及び／又は濃度に一致させるための正規化処理や、所定画素数以下の孤立した画素群をノイズとして除去する処理などがある。更には、単純なベタデータではなく、高精細パターンの検出精度を低下させない範囲で検出

- 5 パターンの特徴を抽出した特徴マトリクスにデータ圧縮変換しておいてもよい。
- このような特徴マトリクスとして、例えば、 $M \times N$ 画素からなる2次元の被検査領域を、 $m \times n$ ($m < M$, $n < N$) ブロックに分割し、各ブロックに含まれる画素の二次電子強度値の総和（若しくはこの総和値を被検査領域全体の総画素数で割った正規化値）を、各マトリクス成分としてなる、 $m \times n$ 特徴マトリクス
- 10 などがある。この場合、基準画像データもこれと同じ表現で記憶しておく。本発明の実施例でいう画像データとは、単なるベタデータは勿論のこと、このように任意のアルゴリズムで特徴抽出された画像データを包含する。

次に、ステップ1308の処理の流れを図12のフローチャートに従って説明する。

- 15 先ず、制御部1016のCPUは、基準画像記憶部1013（図8）から基準画像データをRAM等のワーキングメモリ上に読み出す（ステップ1350）。この基準画像は、図14では参照番号1036で表される。そして、画像番号 i を1にリセットし（ステップ1352）、記憶領域1008から画像番号 i の被検査画像データをワーキングメモリ上に読み出す（ステップ1354）。

- 20 次に、読み出した基準画像データと、画像 i のデータとをマッチングして、両者間の距離値 D_i を算出する（ステップ1356）。この距離値 D_i は、基準画像と、被検査画像 i との間の類似度を表し、距離値が大きいほど基準画像と被検査画像との差異が大きいことを表している。この距離値 D_i として類似度を表す量であれば任意のものを採用することができる。例えば、画像データが $M \times N$ 画素からなる場合、各画素の二次電子強度（又は特徴量）を $M \times N$ 次元空間の各位置ベクトル成分とみなし、この $M \times N$ 次元空間上における基準画像ベクトル及び画像 i ベクトル間のユークリッド距離又は相関係数を演算してもよい。勿論、ユークリッド距離以外の距離、例えばいわゆる市街地距離等を演算することもできる。更には、画素数が大きい場合、演算量が膨大になるので、上記したように $m \times n$ 特徴
- 25

ベクトルで表した画像データ同士の距離値を演算してもよい。

次に、算出した距離値 D_i が所定の閾値 T_h より小さいか否かを判定する（ステップ1358）。この閾値 T_h は、基準画像と被検査画像との間の十分な一致を判定する際の基準として実験的に求められる。

- 5 距離値 D_i が所定の閾値 T_h より小さい場合（ステップ1358肯定判定）、当該ステンシルマスク800の当該検査面1034には「欠陥無し」と判定し（ステップ1360）、本サブルーチンをリターンする。即ち、被検査画像のうち1つでも基準画像と略一致したものがあれば、「欠陥無し」と判定する。このように全ての被検査画像とのマッチングを行う必要が無いので、高速判定が可能となる。
- 10 図14の例の場合、3行3列目の被検査画像が、基準画像に対して位置ずれが無く略一致していることがわかる。

距離値 D_i が所定の閾値 T_h 以上の場合（ステップ1358否定判定）、画像番号 i を1だけインクリメントし（ステップ1362）、インクリメントした画像番号 $(i+1)$ が一定値 i_{MAX} を越えているか否かを判定する（ステップ1364）。

- 15 画像番号 i が一定値 i_{MAX} を越えていない場合（ステップ1364否定判定）、再びステップ1354に戻り、インクリメントした画像番号 $(i+1)$ について画像データを読み出し、同様の処理を繰り返す。

- 20 画像番号 i が一定値 i_{MAX} を越えた場合（ステップ1364肯定判定）、当該マスクの当該検査面1034には「欠陥有り」と判定し（ステップ1366）、本サブルーチンをリターンする。即ち、被検査画像の全てが基準画像と略一致していなければ、「欠陥有り」と判定する。

以上が試料台の各実施例であるが、本発明は、上記例にのみ限定されるものではなく本発明の要旨の範囲内で任意好適に変更可能である。

- 25 例えば、被検査試料としてステンシルマスクを例に掲げたが、本発明の被検査試料はこれに限定されず、電子線によって欠陥を検出することができる任意のものが選択可能である。

また、本発明は、電子以外の荷電粒子線を用いて欠陥検出を行う装置にも適用できるばかりでなく、試料の欠陥を検査可能な画像を取得できる任意の装置にも適用可能である。

また、上記実施例では、画像データ同士のマッチングを行う際に、画素間のマッチング及び特徴ベクトル間のマッチングのいずれかとしたが、両者を組み合わせることもできる。例えば、最初、演算量の少ない特徴ベクトルで高速マッチングを行い、その結果、類似度の高い被検査画像については、より詳細な画素データでマッチングを行うという２段階の処理によって、高速化と精度とを両立させることができる。

また、本発明の実施例では、被検査画像の位置ずれを電子線の照射領域の位置ずらしのみで対応したが、マッチング処理の前若しくはその間で画像データ上で最適マッチング領域を検索する処理（例えば相関係数の高い領域同士を検出してマッチングさせる）と本発明とを組み合わせることもできる。これによれば、被検査画像の大きな位置ずれを本発明による一次電子線の照射領域の位置ずらしで対応すると共に、比較的小さな位置ずれを後段のデジタル画像処理で吸収することができるので、欠陥検出の精度を向上させることができる。

また、図１０のフローチャートの流れも、これに限定されない。例えば、ステップ１３１２で欠陥有りと判定された試料について、他の領域の欠陥検査は行わないことにしたが、全領域を網羅して欠陥を検出するように処理の流れを変更してもよい。また、電子線の照射領域を拡大し１回の照射で試料のほぼ全検査領域をカバーできれば、ステップ１３１４及びステップ１３１６を省略することができる。

以上詳細に説明したように本実施例の欠陥検査装置によれば、試料上で部分的に重なり合いながら互いから変位された複数の被検査領域の画像を各々取得し、これらの被検査領域の画像と基準画像とを比較することによって、試料の欠陥を検査するようにしたので、被検査画像と基準画像との位置ずれによる欠陥検査精度の低下を防止できる、という優れた効果が得られる。

更に本発明のデバイス製造方法によれば、上記のような欠陥検査装置を用いてマスクの欠陥検査を行うようにしたので、製品の歩留まりの向上及び欠陥製品の出荷防止が図れる、という優れた効果が得られる。

電子線装置の他の実施例

図１５Ａは単ビームによるステンスルマスク検査装置の実施例である。電子銃

711から放出された電子線はコンデンサレンズ751と対物レンズ753で縮小され、ステンシルマスク800に合焦され、偏向器755、757でステンシルマスク800上を二次元走査する。ステンシルマスク800の穴部を透過した電子はMCP771で検出され、アンプ761で増幅、かつ、AD変換され、画像形成回路763で画像データが形成される。この画像データはCADで作られた設計データと比較され、異なる座標が出力される。

この実施例においては、例えば、偏向器755、757で、X方向に単ビームを走査し、試料台50をY方向に移動させるようにする。勿論、偏向器755、757で、Y方向に単ビームを走査し、試料台50をX方向に移動させるようにしてもよい。

図15Bは前記図15Aと比較して電子線の数を実数にした場合の実施例である。L_aB₆カソードを持つ電子銃711'から放出された電子線はコンデンサレンズ752で放出方向を拡大され、第2のコンデンサレンズ754の上に設けたマルチ開口756を照射する。マルチ開口756で成形された電子線は縮小レンズ758と対物レンズ760とでステンシルマスク800に合焦される。ステンシルマスク800を通過した電子は拡大レンズ762、764によって拡大され、複数の検出器（各検出器は符号a～fとして示し、全体を770'と示す。）で検出され、各検出器に付属のA/D変換器768でデジタル信号にされ、欠陥検査処理が行われる。マルチビームを作る光軸を実数にすると、収差が低減され、各ビームを細く絞ることができる。

本実施例においては、第2のコンデンサレンズ754と縮小レンズ758との間に、偏向器755'と757'が設けられている。当該偏向器755、757により、ステンシルマスク800に合焦された複数の電子線は、ステンシルマスク800上を二次元に走査される。本実施例においても、例えば、偏向器755'、757'で、複数の電子線をX方向に走査し、試料台50をY方向に移動させるようにする。勿論、偏向器755'、757'で、Y方向に複数の電子線を走査し、試料台50をX方向に移動させるようにしてもよい。

複数の電子線の横断面形状は、円形でも矩形でもよい。しかし、X方向にかかる複数の電子線を走査する場合、X方向の電子間距離は同一であることが望まし

い。

上記実施例によれば、下記の効果を奏することができる。

1. 照射電子線の平行度を良くする即ち、開口度 α を小さくするので拡大光学系の収差が小さく高解像度の像が得られる。
- 5 2. 照射光学系はレンズ2段でもテレセントリック光学系になるので、光学系が簡単でしかも、試料のZ方向位置の変動の許容法は大きい。また α が小さいので、焦点深度も深い。
3. 試料台を連続移動させながら検査を行うので、主視野の幅が小さくても高スループットで検査が行える。
- 10 4. 主視野内をステップ又は連続移動的に走査し、ダイナミック収差補正を行えば、 α を大きくしてビーム電流を大きくしても低収差を実現できる。
5. シンチレータ像をCCDに結像させる倍率を光学レンズで調整するので一次系の倍率をきちんと合せる必要がない。
6. L_aB_6 電子銃を高輝度条件で使ったり、FE電子銃を使うことにより、高解
- 15 像度、高スループットが可能である。画素当りの等価周波数を800MHz以上も可能である。
7. 電子銃を下、検出器を上にする事により、マスク位置が下り、振動に強くなる。
8. 初段のレンズをダブルットレンズにすることで、倍率の色収差と歪が補正さ
- 20 れボケが小さく歪の小さい像が得られる。
9. 拡大レンズ系の倍率を可変にしたので、等倍マスク、1/4縮のマスク、1/10縮小等のキャラクターマスクの検査すべてを能率良く検査できる。
10. TDI検出器を大気外とすることで高速の信号を容易に取り扱える。
11. 照明系のレンズ条件を変えることにより、クロスオーバー縮小の小ビームと
- 25 できるので、レジストレーションを高精度で行える。
12. 電子線を用いることで、光を用いるより高輝度の検査が行える。これにより、欠陥製品を製造する事故が減らせる。
13. 画像データとパターンデータとを比較するので、近接効果補正された結果、正しく補正されているか検査できる。

デバイス製造方法

次に図 1 6 及び図 1 7 を参照して本発明による半導体デバイスの製造方法の実施例を説明する。

図 1 6 は、本発明による半導体デバイスの製造方法の一実施例を示すフローチャートである。この実施例の製造工程は以下の主工程を含んでいる。

(1) ウエハを製造するウエハ製造工程（又はウエハを準備するウエハ準備工程）（ステップ 1 4 0 0）

(2) 露光に使用するマスクを製造するマスク製造工程（又はマスクを準備するマスク準備工程）（ステップ 1 4 0 1）

10 (2') 製造したマスクの検査工程（ここで、上記電子線装置を利用した検査装置を用いる。）

(3) ウエハに必要な加工処理を行うウエハプロセッシング工程（ステップ 1 4 0 2）

15 (4) ウエハ上に形成されたチップを 1 個ずつ切り出し、動作可能にならしめるチップ組立工程（ステップ 1 4 0 3）

(5) できたチップを検査するチップ検査工程（ステップ 1 4 0 4）

なお、上記のそれぞれの主工程は更に幾つかのサブ工程からなっている。

これらの主工程中の中で、半導体デバイスの性能に決定的な影響を及ぼすのが (3) のウエハプロセッシング工程である。この工程では、設計された回路パターンをウエハ上に順次積層し、メモリや M P U として動作するチップを多数形成する。このウエハプロセッシング工程は以下の各工程を含んでいる。

(A) 絶縁層となる誘電体薄膜や配線部、或いは電極部を形成する金属薄膜等を形成する薄膜形成工程（C V D やスパッタリング等を用いる）

(B) この薄膜層やウエハ基板を酸化する酸化工程

25 (C) 薄膜層やウエハ基板等を選択的に加工するためにマスク（レチクル）を用いてレジストパターンを形成するリソグラフィー工程

このリソグラフィー工程で用いられるマスクには、上記検査装置で検査されたマスクを用いる。

(D) レジストパターンに従って薄膜層や基板を加工するエッチング工程（例え

ばドライエッチング技術を用いる)

(E) イオン・不純物注入拡散工程

(F) レジスト剥離工程

(G) 加工されたウエハを検査する工程

- 5 なお、ウエハプロセッシング工程は必要な層数だけ繰り返し行い、設計通り動作する半導体デバイスを製造する。

図17Aは、図16のウエハプロセッシング工程の中核をなすリソグラフィー工程を示すフローチャートである。このリソグラフィー工程は以下の各工程を含む。

- 10 (a) 前段の工程で回路パターンが形成されたウエハ上にレジストをコートする
 レジスト塗布工程 (ステップ1500)
 (b) レジストを露光する工程 (ステップ1501)
 (c) 露光されたレジストを現像してレジストのパターンを得る現像工程 (ステップ1502)
- 15 (d) 現像されたレジストパターンを安定化するためのアニール工程 (ステップ1503)

上記の半導体デバイス製造工程、ウエハプロセッシング工程、リソグラフィー工程については、周知のものでありこれ以上の説明を要しないであろう。

- 20 上記(2) - (2') の検査工程、及び、上記リソグラフィー工程に本発明に係る欠陥検査方法、欠陥検査装置を用いると、微細なパターンを有するステンシルマスクでも、スループット良く検査できるので、全数検査が可能となり、欠陥製品の製造防止が可能と成る。

検査手順

上記(2) - (2') の検査工程における検査手順について述べる。

- 25 一般に電子線を用いた欠陥検査装置は高価であり、またスループットも他のプロセス装置に比べて低いために、現状では最も検査が必要と考えられている重要な工程 (例えばエッチング、成膜、又はCMP (化学機械研磨) 平坦化処理等) の後に使用されている。

検査されるマスクは大気搬送系及び真空搬送系を通して、超精密X-Yステー

ジ上に位置合わせ後、静電チャック機構等により固定され、以後、(図17B)の手順に従って欠陥検査等が行われる。はじめに光学顕微鏡により、必要に応じて各ダイの位置確認や、各場所の高さ検出が行われ記憶される。光学顕微鏡はこの他に欠陥等の見たい所の光学顕微鏡像を取得し、電子線像との比較等にも使用される。次にマスクの種類(どの工程後か、マスクのサイズは20cmか30cmか等)に応じたレシピの情報を装置に入力し、以下検査場所の指定、電子光学系の設定、検査条件の設定等を行なった後、画像取得を行ないながら通常はリアルタイムで欠陥検査を行なう。セル同士の比較、ダイ比較等が、アルゴリズムを備えた高速の情報処理システムにより検査が行なわれ、必要に応じてCRT等に結果を出力や、メモリーへ記憶を行なう。欠陥にはパーティクル欠陥、形状異常(パターン欠陥)、及び電氣的(配線又はビア等の断線及び導通不良等)欠陥等があり、これらを区別したり欠陥の大きさや、キラー欠陥(チップの使用が不可能になる重大な欠陥等)の分類を自動的にリアルタイムで行うことも出来る。電氣的欠陥の検出はコントラスト異状を検出することで達成される。例えば導通不良の場所は電子線照射(500eV程度)により、通常正に帯電し、コントラストが低下するので正常な場所と区別ができる。この場合の電子線照射手段とは、通常検査用の電子線照射手段以外に別途、電位差によるコントラストを際立たせるために設けた低電位(エネルギー)の電子線発生手段(熱電子発生、UV/光電子)をいう。検査対象領域に検査用の電子線を照射する前に、この低電位(エネルギー)の電子線を発生・照射している。検査用の電子線を照射すること自体正に帯電させることができる写像投影方式の場合は、仕様によっては、別途低電位の電子線発生手段を設ける必要はない。また、マスク等の試料に基準電位に対して、正又は負の電位をかけること等による(素子の順方向又は逆方向により流れ易さが異なるために生じる)コントラストの違いから欠陥検出が出来る。線幅測定装置及び合わせ精度測定にも利用できる。

以上のように第1の発明に係る実施例によれば、電子線を用いてマスクの画像を形成するようにしたので、従来のような光を用いた欠陥検査装置と比較して、より微細な欠陥を検査することができる。

また、マスクを透過した電子線を用いて試料の画像を形成するようにしたので、

照射ビームと透過ビームは共通の経路を通らないことから、従来のように共通の経路を通る装置と比較して、空間電荷効果による透過ビームのボケは大幅に改善され、その結果、S/N比の良い信号を得ることができ、短時間で試料の欠陥を検査することができる。

5 次に第2の発明に係る実施例を説明する。

第2の発明の実施例は、ウェーハやステンシルマスク等の試料をリソグラフィ、成膜（CVD、スパッタ、メッキ）、酸化、不純物ドーピング、エッチング、平坦化、洗浄、乾燥等の半導体プロセス処理を行うとともに、これらの処理後のウェーハやステンシルマスク等の試料における高密度パターンの形状観察や欠陥検査
10 を高精度・高信頼性で行う装置、及び該装置を用いてデバイス製造プロセス途中のパターン検査を行う半導体デバイス製造方法に関するものである。

第2の発明の実施例は、さらに、半導体デバイス製造用のマスクの欠陥検査を行なう装置に関する。

従来、各々の半導体製造装置と、形状観察装置又は欠陥検査装置とは、別々の
15 独立した装置（スタンドアロン装置）として製作され、ラインの中でも別々に配置されていた。このために、一つの半導体プロセス処理が済んだウェーハ等の試料はカセットに入れて、何らかの輸送手段により一つの半導体製造装置から直接に、又は洗浄・乾燥装置を経て、検査装置へと運ぶ必要があった。

また、ステンシルマスクを高精度で検査するのに電子線を用いる場合は、細い
20 電子線でマスクの裏側から電子線を走査させ、透過電子を検出して検査を行なうようにしていた。

上記のように各装置を配置構成した場合、各装置間に試料輸送手段が必要となり、また、各装置ごとに試料をカセットに対して出し入れするロード手段およびアンロード手段が必要となる。このため、装置設置面積を多く必要とし、装置の
25 総合費用も多くなり、またウェーハ等の試料の汚染の確率も多いという問題があった。

また、上記マスクの検査では細い電子線を用いるので、スループットが著しく小さくなるという問題があった。

第2の発明に係る実施例は、上記問題を解決するためのもので、各装置間の輸

送手段を省き、各装置のロード手段およびアンロード手段を共有化することによって、装置設置面積を減少させ、装置の総費用を低減し、更に試料汚染の確率を低減させ、プロセスの歩留まりを向上させることのできる半導体製造装置を提供し、さらには、高スループットでステンシルマスクの欠陥検査を行なう装置および方法を提供することを目的としている。

次に第2の発明の実施例に係る半導体製造装置の概要を説明する。

かかる半導体製造装置は、ウェーハ等の試料のためのものであり、欠陥検査装置を内蔵することを特徴とする。

半導体製造装置の中に欠陥検査装置を内蔵するため、ロード部により取り入れられたウェーハやステンシルマスク等の試料は、一つの製造工程が終了した後、前記装置内で欠陥検査装置へと移動され、欠陥検査装置で検査後、アンロード部から取り出される。したがって、ロード部とアンロード部とは、これまでそれぞれの装置の数だけの組数が必要であったが、かかる半導体製造装置によればこれを一組にすることができる。また、半導体製造装置と欠陥検査装置の間のウェーハ等の試料輸送装置も省略することができる。したがって、装置の設置床面積を減少でき、また、装置の総費用を低減し、更にウェーハ等の試料の汚染の確率を低減させ、プロセスの歩留まりを向上できる。

前記半導体製造装置において、欠陥検査装置をエネルギー線を用いた欠陥検査装置とすることができ、前記半導体製造装置と一体とすることができる。

前記半導体製造装置において、該装置の構成をエッチング（パターン形成）部、洗浄部、乾燥部、前記検査装置を有する検査部、ならびに、ロード部およびアンロード部を備えて構成することができ、さらに検査部がエッチング部、乾燥部、アンロード部のいずれか一つ又はいずれか二つあるいは三つに近接して設置することができる。

これによれば、装置全体の設置面積が縮小化でき、また、パターン形成処理、洗浄、乾燥、検査の4機能を1台の装置で行うことが可能になり、さらに、主要素部分を近接化したために、より効率を高めることができ、更に設置床面積を減少できた。

前記半導体製造装置において、該装置の構成をメッキ部、洗浄部、乾燥部、前

記欠陥検査装置を有する検査部ならびにロード部およびアンロード部を備えて構成することができ、さらに検査部が、メッキ部、乾燥部およびアンロード部のいずれか一つ又はいずれか二つあるいは三つに近接して設置することができる。これによれば、メッキ装置においても前記CMPの場合と同様の効果が得られる。

- 5 前記半導体製造装置において、欠陥検査装置を電子線検査装置とすることができ、前記半導体製造装置には洗浄装置及び乾燥装置を組み込むことができる。

これによれば、ステンシルマスク等の試料は欠陥検査装置において、より高分解能の検査が可能になり、白欠陥や黒欠陥の検査が可能となる。また、洗浄装置及び乾燥装置を内部に組み込むことにより、従来は独立したスタンドアロン装置

- 10 として設置されていた洗浄・乾燥装置に伴うロード部およびアンロード部の省略や、試料輸送装置の省略ができるので、装置の設置床面積を減少でき、また、装置の総費用を低減し、更にステンシルマスク等の試料の汚染の確率を低減させ、プロセスの歩留まりを向上させることができる。

上記欠陥検査装置は、エネルギー線を用いた欠陥検査装置とすることができ、

- 15 該欠陥検査装置は、上記半導体製造装置と一体とすることができ。エネルギー粒子線またはエネルギー線という概念は、電子線、X線、X線レーザ、紫外線、紫外線レーザ、光電子および光を含む。また、かかるエネルギー粒子線またはエネルギー線を利用した欠陥検査装置は、少なくとも、エネルギー粒子照射部と、エネルギー粒子検出部と、情報処理部と、X-Yステージと、資料載置台とを備
- 20 えている。

前記半導体製造装置において、電子線欠陥検査装置は差動排気システムを備えることができる。

これによれば、電子線装置の試料ステージの周りの空間を真空排気する必要が無くなり、またそのステージ空間前後のロードロック機構を省略して、ウェーハ

- 25 等の試料を搬送することが可能になる。

前記半導体製造装置において、試料表面の電子線照射領域を前記差動排気システムにより減圧することができる。

これによれば、試料表面の電子線照射領域だけを排気することにより、より効率の良い排気システムを構成できる。

前記半導体製造装置において、欠陥検査装置を、走査型電子顕微鏡（SEM）方式の電子線欠陥検査装置とすることができる。

また、前記半導体製造装置において、前記電子線欠陥検査装置に用いる一次電子線を複数の電子線で構成することができ、試料からの二次電子を、E×Bフィルタ（ウィーンフィルタ）により一次電子線の光軸から分離して、複数の電子線検出器で検出することができる。

前記半導体製造装置において、前記欠陥検査装置を、写像投影型電子顕微鏡方式の電子線欠陥検査装置とすることができる。

前記半導体製造装置において、前記電子線欠陥検査装置に用いられる一次電子線を複数の電子線で構成することができ、該複数の電子線を走査しながら試料に照射し、試料からの二次電子はE×Bフィルタ（ウィーンフィルタ）により一次電子線の光軸から分離して2次元又はラインイメージセンサで検出することができる。

これにより、電子線量及び2次電子光学系の分解能を向上させることができ、従ってスループットを向上させることができる。

LaB₆電子銃から放出された電子線を整形して試料に照射し、試料から出てきた電子線を写像投影型電子顕微鏡方式の光学系で画像形成する欠陥検査装置で電子線装置を提供することができ、この電子線装置は、ロード・アンロード用のロードロック室を備えることができ、前記LaB₆電子銃を空間電荷制限条件で動作させることができる。

前記電子線装置において、前記試料から出てくる電子線を、反射電子又は透過電子とすることができる。

前記電子線装置において、写像投影された試料像を蛍光板で光学像に変換し、該光学像をFOPまたはレンズ系によってTDI検出器に結像させることができる。

前記電子線装置において、写像投影された試料像を、電子線に感度を有するTDI検出器に結像させることができる。

前記電子線装置において、前記試料を静電チャックで試料台に固定することができ、該試料台の位置を計測するためのレーザ干渉計を設けることができ、前記

試料を、前記ロードロック室でも静電チャックで固定することができる。

前記欠陥検査装置を用いてプロセス途中のウェーハを検査することができる。
これにより、プロセスの歩留まりを大きく向上させることができる。

- 5 デバイス製造方法を提供することができ、この方法において、一つのプロセス
終了後のウェーハ又はマスクの欠陥検査欠陥解析を行ない、その結果をプロセス
工程にフィードバックさせることができる。

以下、図面に基づいて詳細に説明する。

- 第18図は第2の発明の半導体製造装置の例である、検査装置を内蔵するステ
ンシルマスク形成（エッチング）装置100”の構成を説明する図である。主な
10 構成要素は、ロードユニット21”を備えるロード部1”、パターン形成22”を
備えるエッチング2”、洗浄ユニット23”を備える洗浄部3”、乾燥ユニット2
4を備える乾燥部4”、検査ユニット25”を備える検査部5”、アンロードユニ
ット26”を備えるアンロード部6”であり、これらが機能的に配置され、一体
化された装置となっている。即ち、図18は各部が機能的に配置された第2の発
15 明の1例を示している。また、図には示されていないが要所要所にはステンシル
マスク等の試料のための搬送機構や、位置合わせ機構等が設けられている。ロー
ド部1”およびアンロード部6”には、図示されていないが、ミニエンバイロメ
ント機構（清浄化装置によりクリーン化した空気または窒素等のガスをダウンフ
ローで循環させてウェーハ等の試料の汚染を防ぐ機構）が備えられている。試料
20 搬送機構等には試料を固定する為に通常必要とされる、真空チャック機構、静電
チャック機構、あるいはメカニカルな試料固定機構が備えられているが、図から
は省略している。前記ロード部1”およびアンロード部6”は、独立して設ける
必要は無く、一室、一基の搬送装置で済ませることもできる。一般に、前記ロー
ド部1”、アンロード部6および制御パネル（図示されていない）を図18のよう
25 に一方向からアクセス（操作）できるように配置し、スルー・ザ・ウォール方式
（試料出し入れ機構及び制御部だけを、よりクリーン度の高い部屋に設置し、一
方、発塵しやすい装置本体をよりクリーン度の低い場所に設置して両者の空間の
境界を壁で仕切り、クリーン度の高い部屋の負荷を低減させる方式）とすること
が望ましい。

図19は第2の発明の工程例を示す。ウェーハ又はステンシルマスク等の試料は、通常、カセットに入った状態で、前工程107”より試料輸送工程108”により運ばれ、ロード部1”にてカセットから取り出されてエッチング部2”に挿入され（試料ロード工程101”）、エッチング部2”でパターン形成処理が行われ（エッチング工程102”）、次に洗浄部3”での洗浄工程103”、乾燥部4”での乾燥工程104”を経て検査部5”へと移動される。検査部5”では形状検査や欠陥検査が行われ（検査工程105”）、アンロード部6”を経てカセット内へ移動され（試料アンロード工程106”）、その後、試料輸送工程108”により、カセットごと次の処理工程109”、例えば露光工程等へ送られる。

- 10 図19の工程において、検査工程105”が不要な試料については、Aラインのように検査工程105”を通さずに、洗浄・乾燥処理後は直接アンロード工程106”に送られる。また、同様にBラインのようにエッチング工程102”、洗浄工程103”および乾燥工程104”をパスすることも可能である。

- 従来のウェーハ処理工程（図20に示す）では、エッチングによるパターン形成処理、洗浄・乾燥処理および検査処理が、それぞれ別個独立の（スタンドアロン）エッチング装置11”、洗浄・乾燥装置12”、検査装置13”（図20に示す）により行われていた。これらそれぞれの装置にロード部1”およびアンロード部6”が備えられるので、かかる従来の配置構成では合計3組のロード部およびアンロード部を備えていたことになる。また、試料を輸送する装置108”も各装置間に備えられる。

- 従来のウェーハ処理工程を図21に示す。ウェーハ等の試料は、通常カセットに入った状態で、前工程107”から試料輸送工程108”により運ばれ、ロード部1”を経てエッチング部2”に挿入され（試料ロード工程101”）、エッチング部2”で平坦化処理が行われ（エッチング工程102”）、試料アンロード工程106”、試料輸送工程108”、試料ロード工程101”を経、その後洗浄工程103”、乾燥工程104”の後、試料アンロード工程106”、試料輸送工程108”を経て検査装置13”へと輸送される（ラインC）。試料は、ロード部1”を経て（ロード工程101”）、検査部13”で形状検査や欠陥検査が行われる（検査工程105”）。その後、試料は、検査装置13”のアンロード部6”を経てを

経てカセット内へ輸送され（試料アンロード工程 106”）、その後、試料輸送工程 108”によりカセットごと次の処理工程 109”、例えば露光工程等へ送られる（ラインD）。通常、検査処理は時間が多くかかるため、エッチング・洗浄・乾燥処理後の全てのウェーハを検査するわけではなく、抜き取りで検査を行う。即ち図 21 の E で示すラインを通る。

図 19 と図 21 を比較すると明らかなように、従来の方法に比べて第 2 の発明に係る実施例では、工程の数を 2 / 3 に減少でき、その分、時間を 10 % 短縮でき、また装置の設置面積を 20 % 縮小できた。また装置の製造コストを 15 % 下げることが出来た。

- 10 以上、第 2 の発明の半導体製造装置の一例として、欠陥検査装置を内蔵したエッチング装置について述べてきたが、他の装置であるリソグラフィー、成膜（CVD、スパッタ、メッキ）、酸化、不純物ドーピング等の処理を行う他の半導体製造装置についても同様に欠陥検査装置を内蔵した構成にすることができる。

- 図 22 は第 2 の発明の第二の実施例である半導体製造装置に含まれるところの、
15 差動排気機構を備えた電子線方式欠陥検査装置の説明図である。図では主な構成要素である電子線欠陥検査装置鏡筒 51”、差動排気部 52”、ガードリング 54”、移動ステージ 55”、のみを示しており、その他の制御系、電源系、排気系等は省略している。試料となるウェーハ 53” は移動ステージ 55” の上に固定され、周囲をガードリング 54” で囲われている。ガードリング 54” はウェーハ 53”
20 と同じ高さ（厚さ）になっており、差動排気部 52” の先端とウェーハ 53” およびガードリング 54” との間の微小隙間 57” が、ステージ移動中にも変わらないように考慮されている。移動ステージ 55” 上の、ガードリング 54” およびウェーハ 53” に占められる場所以外の場所も、ウェーハと同じ高さになっている。ウェーハの搭載／除去は、ステージ 55” 上のウェーハ交換位置 56” の
25 中心が検査装置の中心に一致する位置で行われる。ウェーハの除去の方法は、移動ステージ 55” の上下動ピン 3 本によりウェーハを持ち上げ、その下にサイドから搬送ロボットのハンドを差込み、更に持ち上げてウェーハをキャッチし、搬送するという手順で行われる。ウェーハ搭載の場合は除去の場合と逆の手順で行なわれる。

図23は図22の差動排気部52”の説明図である。差動排気部52”の差動排気ボディ(52-3”)には、同心円状に排気口I(52-1”)及び排気口II(52-2”)が設けられており、排気口Iは広帯域のターボ分子ポンプで排気され、排気口IIはドライポンプで排気される。図では示されていないが、電子線202”の出口(二次電子入口)はφ1mm、長さ1mmの穴形状となっており、コンダクタンスを小さくしている。微少隙間57”はステージ55”の高さを制御することにより、通常0.5mm以下(望ましくは0.1mm以下)に保たれる。本差動排気部に排気速度1000リットル/minのドライポンプ及び、排気速度1000リットル/sのターボ分子ポンプを接続して排気した結果、電子線照射部で 10^{-3} Paオーダー、鏡筒内部の電子線出口近傍で 10^{-4} Paオーダーの圧力が得られた。

図24は第三の実施例を説明する図である。電子線欠陥検査装置として写像投影型電子ビーム検査装置を用いた例である。本図では差動排気部は省略している。電子銃201”から放出された一次電子線202”は矩形開口で整形され、2段のレンズ203”、204”でE×Bフィルタ205”の偏向中心面に0.5mm×0.125mm角に結像される。E×Bフィルタ205”はウィーンフィルタとも呼ばれ、電極206”および磁石207”を有し、電界と磁界を直交させた構造を有し、一次電子線202”を35度に曲げて試料方向(試料に垂直な方向)に向け、一方、試料からの二次電子線を直進させる機能を持つ。E×Bフィルタ205”で偏向された一次電子線202”はレンズ208”、209”で2/5に縮小され、試料210”に投影される。試料210”から放出された、パターン画像の情報をを持った二次電子211”は、レンズ209”、208”で拡大された後、E×Bフィルタ205”を直進し、レンズ212”、213”で拡大され、MCP(マイクロチャンネルプレート)215”で1万倍に増感されて、蛍光部216”により光に変換され、リレー光学系217”を経てTDI-CCD218”で試料のスキャン速度に同期された電気信号となり、画像表示部219で連続した画像として取得される。さらにこの画像は、オンタイムで複数のセル画像との比較および、複数のダイ画像との比較を行うことにより、試料表面(例えばウェーハ等)の欠陥を検出する。さらに、検出された欠陥の形状等の特徴、位置

座標および数を記録し、CRT上などに出力する。一方、試料基板として、酸化膜や窒化膜といった表面構造の違いや、異なる工程後ごとにそれぞれの試料基板に対して適当な条件を選定し、その条件に従って電子線を照射して、最適な照射条件で照射を行った後、電子線による画像を取得し、欠陥を検出する。

5 図25は第2の発明に係る装置の第四の実施例の構成を概略的に示す図である。

電子銃301"から放出された4本の一次電子線302"（302A"、302B"、302C"、302D"）は開口絞り303"で整形され、2段のレンズ304"、305"で、E×Bフィルタ307"の偏向中心面に、 $10\mu\text{m} \times 12\mu\text{m}$ の楕円状に結像され、図の紙面に垂直な方向に沿って、偏向器306"によりラスタースキャンされ、全体として $1\text{mm} \times 0.25\text{mm}$ の矩形領域を均一にカバーするように照射される。E×Bフィルタ307"で偏向された4本の一次電子線302"は、NA絞り308"でクロスオーバーを結び、レンズ309"で1/5に縮小され、試料（ウェーハ）310"に、 $200\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ をカバーし且つ試料にほぼ垂直になるように照射・投影される。試料310"から放出されたパターン画像（試料像311"）の情報を持った4本の2次電子線312"は
15 レンズ309"、313"、314"で拡大され、磁気レンズ315"で試料連続移動方向とTDI-CCD319"の積算段数方向との角度補正が行われ、MCP316"上に全体として4本の二次電子線312"が合成された矩形画像（拡大投影像318"）として結像する。この拡大投影像318"は、MCP316"で1万倍程度に増感されて、蛍光部317"により光に変換され、TDI-CCD319"で試料の連続移動速度に同期された電気信号となり、画像表示部（図示されていない）で連続した画像として取得され、CRT上などに出力あるいはメモリー装置に記憶する。この像から、更にセル比較またはダイ比較等により欠陥を検出し、その位置座標、大きさ、あるいは種類などを判別して記憶、表示、
25 出力を行う。

本実施例の一次電子線照射方法を図26により示す。一次電子線302"は4本の電子線302A"、302B"、302C"、302D"によって構成され、それぞれのビームは $10\mu\text{m} \times 12\mu\text{m}$ の楕円状をしている。それらの電子線はそれぞれが $200\mu\text{m} \times 12.5\mu\text{m}$ の矩形領域をラスタースキャンし、それらが

重なり合わないよう足し合わせて全体として $200\mu\text{m} \times 50\mu\text{m}$ の矩形領域を照射する。本実施例では一次電子線の照射むらが $\pm 3\%$ 程度、照射電流は1本の電子線当たり $250\mu\text{A}$ で試料表面で全体として、4本の電子ビームで $1.0\mu\text{A}$ を得ることができた。電子線の本数を増やすことにより、更に電流を増加でき、高スループットを得ることができる。

図中には示していないが、本装置には、レンズの他に、制限視野絞り、電子線の軸調整のための4極またはそれ以上の極数を有する偏向器（アライナー）、非点収差補正器（スティグメータ）、さらにビーム形状を整形する複数の4重極レンズ（4極子レンズ）など、電子線の照明、結像に必要なユニットを備えている。

- 10 電子線照射部は試料表面をできるだけ均一に、かつ照射むらを少なくして、矩形または楕円状に電子線で照射する必要がある、また、スループットをあげるためにはより大きな電流で照射領域を電子線照射する必要がある。従来の電子線照射系は、照射むらが大きく $\pm 10\%$ 程度であり、また、電子線照射電流は照射領域において 500nA 程度であった。また、走査型電子線顕微鏡（SEM）方式
- 15 に比べて、広い画像観察領域を一括して電子線照射するためにチャージアップによる結像障害が生じやすいという問題があったが、本方式のように複数の電子ビームを走査して試料に照射する方法により、照射むらを $1/3$ 程度に低減出来た。照射電流は試料表面で全体として、4本の電子ビームの場合で、約2倍以上の電流値を得ることができた。電子線の本数を増やすことにより、例えば16本程度
- 20 には容易に増やすことが可能であり、更に高電流化でき、従って、高いスループットを得ることができる。また、比較的細いビームをラスタースキャンすることにより、試料表面のチャージが逃げやすくなるために一括照射の場合に比べてチャージアップを $1/10$ 以下に低減できた。

- 以上、実施例として写像投影方式の電子線欠陥検査装置の例を示したが、走査
- 25 型電子顕微鏡方式（SEM方式）等の欠陥検査装置を使用することも可能である。

図27は第2の発明の第5の実施例の写像投影光学系を用いた欠陥検査装置を示す。この実施例では、反射電子を用いている。

電子銃601”から画像表示部619”までの構成部品はすべて図24のものと同様であり、したがって、図24において符号201”ないし219”を付さ

れた構成部品は、図 27 においてはそれぞれ符号 601" ないし 619" を付されている。図 27 の実施例が図 24 の実施例と異なるのは電子線の軌道のみで、2 次電子の軌道 620" は、点線で示したように、試料 610" から大きい放出角で放出されて対物レンズ 609" の作る加速電界で軸方向に加速されるため、

5 小さいビーム束となり対物レンズ 609" に入射する。一方、反射電子 621" は、放出された方向にほぼ直進するため、ビームを制限する開口 622" のアパーチャ径を大きくして十分な S/N 比の信号を得られるようにした。反射電子は、ビームのエネルギー幅 ΔV が 2 次電子に比べて小さいので、開口 622" の径が多少大きくても収差を十分小さくできる。

10 次に、第 3 の発明の実施例に係る電子線装置及びそのような装置を用いるデバイス製造方法について説明する。

第 3 の発明の実施例は、最小線幅 0.1 μm 以下のパターンを有する試料の評価を高スループット且つ高信頼性で行う電子線装置に関するものであり、更に、そのような装置を用いるデバイス製造方法に関する。

15 従来、ステンスルマスクなどの各種マスクの欠陥検査工程やフォトマスク工程において、1 次電子線を試料に入射させ、試料から放出される 2 次電子を像として拡大して、その像を CCD 検出器あるいは TDI 検出器で検出して検査（光方式検査）が行われていた。また、そのような電子線装置も公知である。先行する特許出願としては次のものが上げられる。

20 特開平 11-132975

特開平 7-249393

特願 2000-193104

特願 2000-229101

従来の電子線装置では、2 次光学系の 2 次電子の透過率が小さく、必要な S/N 比の像を得るためには 1 次電子線を多量に入射させる必要があり、そのため試料面が帯電する問題点があった。更に、透過率を向上させるとするとビームのボケが大きくなり、像のコントラストが低下してしまう問題点があった。

25 第 3 の発明に係る実施例は、上記課題を解決するための電子線装置を提供するものである。

まず、第3の発明の実施例に係る電子線装置の概要を説明する。

「1」(図30：共役関係：電子銃12'が作るクロスオーバーNA開口40' - 対物レンズ32'の主面)

本実施例は、検査対象である試料の試料面に電子銃より放出された1次電子線
5 を入射させ、その試料から放出される2次電子線により形成される電子像を拡大
して検出する電子線装置に於いて、前記1次電子線と前記2次電子線とに共通す
る経路上にNA開口を設け、前記試料面の近くに電子レンズを設け、前記1次電
子線に関し、前記電子銃が作るクロスオーバと前記電子レンズの主面と前記NA
開口とが、それぞれ共役関係にある。

10 「2」 望ましくは、前記電子レンズの主面もしくは主面近傍に、前記NA開口
の前記電子レンズ側に配置された電子レンズ38'によりNA開口像を形成する。

「3」 更に、前記1次電子線の経路上に成形開口を設け、

前記成形開口と前記試料面を共役面とし、前記1次電子線による電子銃のクロ
スオーバ像をNA開口と対物レンズ主面とに形成する。これにより、低収差とな
15 るので同じ収差ではNA開口を大きくできるので2次電子の透過率が高く、少量
の1次電子線であっても、十分なS/N比の像を得ることが可能となる。

本実施例によれば、クロスオーバ像、NA開口、対物レンズ主面が共役となり、
成形開口と成形開口像と試料面が共役となっている。

「4・5」(ビーム形状、その強度)

20 上記したように本実施例は、NA開口の像を上記試料面の近くに配した電子レ
ンズの主面近くに形成される様にした。その構成を図30に示す。上記電子レン
ズを図30中、符号32'とし、以下対物レンズ32'とする。上記構成により、
試料面34a'からNA開口40'を通る2次電子のみが2次光学系に受け入れ
られ検出される。その様子を図31に示す。

25 試料からの2次電子は符号43'で示す余弦法則に従って放出される。即ち、
放出点Oから任意角度方向へ放出される2次電子の強度は放出点Oと符号43'
で示す円周との交点迄の距離に比例する。従って、試料の視野の中央から放出さ
れた2次電子の内、2次光学系に受け入れられる量は符号41'で示す角錐と余
弦法則による球状(その一断面を円周43'と示す)で囲まれた体積に比例する。

一方、視野の右端から放出される２次電子のうち、２次光学系に受け入れられるものは符号４２'で示す角錐の範囲内である。

角錐４１'と角錐４２'とは、その頂点の角度 α が同じであるにも関わらず、その体積は角錐４１'のほうが大きい。角錐４１'は円弧ＡＢを含み、角錐４２'は円弧ＣＤを含む。両角錐（４１'、４２'）の比較により、右端から放出される
5 ２次電子は、試料３４'の中央（光軸１１'上）から放出される２次電子より少ない。従って、光軸１１'上は明るく、光軸１１'から離れた位置の２次電子線は暗くなる傾向となる。

そこで、本実施例は、１次電子線を試料面に照射し、試料から放出される２次
10 電子を像として拡大し検出する電子線装置に於いて、試料面に入射させる１次電子線のビーム形状を光軸近くで強度が小さく、光軸から離れた場所では強度が大きい分布を有する。同様に、本実施例は、上記電子線装置において、試料面に入射させる１次電子線のビーム形状を光軸近くで強度が小さく、光軸から離れた場所では強度が大きい分布を有する。これにより、２次光学系に受け入れられる２
15 次電子は光軸からの距離に依存せず、一定になるので、検出信号強度も光軸からの距離に依存せず一定となる。

「６・７」（Ｅ×Ｂ分離器の位置）

また本実施例は、検出される像の歪収差を小さくするために、１次電子線をＥ×Ｂ分離器を用いて試料面に垂直に入射させ、前記試料面から放出される２次電
20 子を少なくとも２段の電子レンズで像として拡大させ、検出する電子線装置において、前記２次電子線の経路において最も下流に位置する電子レンズと検出器との間に前記Ｅ×Ｂ分離器を配置する。同様に、本実施例は、上記電子線装置において、２次電子の経路上に少なくとも２段の電子レンズを配し、前記Ｅ×Ｂ分離器を前記２段の電子レンズのうち下流に位置する電子レンズと検出器との間に配
25 置する。

「８・９」（偏向量、電場の２倍）

Ｅ×Ｂ分離器は通過する電子線を任意の方向に偏向させる機能を備える。しかし、上記偏向させる程度は、電子線のエネルギーによって微妙に異なっている。一般に、エネルギーの小さな電子線ほど大きく偏向される。

そこで、本実施例は、1次電子線をE×B分離器を用いて試料面に垂直に入射させ、試料から放出される2次電子を像として拡大して検出する電子線装置に於いて、前記E×B分離器は、磁場による2次電子の偏向量が電場によるものの2倍程度である。同様に、上記電子線装置に於いて、前記E×B分離器は、磁場による2次電子の偏向量が電場によるものの2倍程度である。これにより、通過する電子線のエネルギーにバラツキがあったとしても、近似できる程度、同じ方向に偏向される。その結果、検出器はより解像度の良い2次電子線を得ることができる。

「10」上記本実施例の具体的構成の一つは、上記電子線装置において、前記E×B分離器は、4000 eV程度の2次電子を偏向させるよう設定され、かつ、2次電子線の光軸に対して2次電子線を7°～15°偏向させるよう設定されている。

「11」(図34：共役関係 電子銃212'が作るクロスオーバー対物レンズ232' - NA開口240')

また、本実施例は、マスクの検査に用いられる電子線装置としても実施可能である。本実施例は、検査対象である試料に、電子銃より放出された1次電子線を透過させ、その透過した透過電子線により形成される電子像を拡大して検出する電子線装置に於いて、前記透過電子線の経路上にNA開口を設け、前記試料の近くに電子レンズを設け、前記1次電子線及び前記透過電子線に関し、前記電子銃が作るクロスオーバと前記電子レンズと前記NA開口とが、それぞれ共役関係にある。

「12」望ましくは、上記電子線装置において、前記電子レンズの主面もしくは主面近傍に、前記透過電子線による電子銃のクロスオーバ像を形成する。

「13」(もう一つの共役関係：成形開口216' - 試料234')

更に、上記電子線装置において、前記1次電子線の経路上に成形開口を設け、前記1次電子線に対して、前記成形開口と前記試料を共役関係となるように配置し、前記1次光学系による成形開口の像を、前記試料面に形成する。これにより、必要十分な領域のみを電子線照射できるので、試料の温度上昇、放射線損傷等を最小限に保てる。少量の1次電子線であっても、十分なS/N比の像を得ること

が可能となる。

「14・15」(拡大像を2段目レンズ前に形成)

また、試料面から放出される2次電子あるいは試料から透過した電子像を少なくとも2段の電子レンズで拡大して検出する電子線装置に於いて、1段目の電子
5 レンズが作る拡大像の位置を2段目の電子レンズより上流の特定の位置に合せる
ことによって歪収差あるいは倍率色収差を小さくする。同様に、上記電子線装置
において、前記透過電子線の経路上に少なくとも2段の電子レンズを設け、1段
目の電子レンズが作る拡大像の位置を2段目の電子レンズより上流の特定の位置
に合せる。これにより、検出される像の歪収差をより小さくすることができる。

10 「16・17」(補正パラメータ最適化)

1次電子線を試料に照射し、試料から放出された2次電子像、あるいは、試料
を透過する透過電子像を拡大して像として検出する電子線装置もしくは上記電子
線装置に於いて、像の歪収差をシュミレーション計算し、歪収差の3次の絶対値
と5次の絶対値との差を求め、前記差が最小となるか、もしくは5次の絶対値が
15 3次の絶対値より5～15%程度大きくなる様に、補正パラメータを最適化し、
前記最適化された補正パラメータに応じて、1段目の電子レンズが作る拡大像の
位置を設定する。

「18・19」(拡大率の調整、試料位置移動)

ステンシルマスクとして現在2種類が考えられる。一つはマスクの1/4の像
20 をウェーハに縮小する転写装置に使われるマスクと、他の一つは1:1の転写装
置に使われるマスクである。前者は分解能はそれ程必要ないが、マスク面積が
 $25\text{mm} \times 40\text{mm} \times 16 = 16000\text{mm}^2$ と大きい。一方、後者はマスク面積は $25\text{mm} \times$
 $40\text{mm} = 1000\text{mm}^2$ と小さいが、高解像度が要求される。

この様な2種類のステンシルマスクを検査するため、ステンシルマスクを透過
25 した透過電子像の倍率を可変にすることが重要になる。収差を悪くしないで倍率
を変えるには、ステンシルマスク28'と対物レンズ29'としての拡大レンズ
間の距離、即ち、ワーキングディスタンス31'を変えるのがよいことがシミュ
レーションの結果明らかになった。

そこで、本実施例は、試料を透過した電子を前記試料に近接して配置された電

子レンズで透過電子像として拡大し、CCD又はTDI又はEBCCDのいずれかで検出する電子線装置に於いて、前記透過電子像を拡大する拡大率を変えるとき、前記試料と前記対物レンズとの間の距離を変化させる。同様に、上記電子線装置において、一つの試料を解像度の異なる他の試料に変更する際に、前記試料

5 に近接して配置された電子レンズと前記試料との距離の調節手段が設けられている。これにより、収差を悪くすること無く透過電子像の倍率を可変にすることが可能となる。

「20」(磁気レンズ、ギャップが試料側)

二次電子や透過電子の拡大像を作る場合、倍率色収差が十分補正されると、軸

10 上色収差が収差を決める。特に2次電子の透過率を向上させるには軸上色収差を低減させることが重要になる。そこで、上記電子線装置に於いて、前記試料面の近くに設けた電子レンズは、コアのギャップが試料側にある電磁レンズを含んでいる。これにより、軸上磁場分布はギャップ位置より試料65側に最大値を形成できるので、軸上色収差係数を小さくすることができる。

15 「21」(半導体デバイス製造方法：ウェーハのチェック)

上記記載の電子線装置を用いて、前記被検査試料であるところの半導体ウェーハの欠陥を検査する半導体のデバイス製造方法である。

具体的一例は、以下の各ステップを備える半導体デバイスの製造方法である。

(1) ウェーハを製造するウェーハ製造工程(またはウェーハを準備するウェーハ準備工程)

20

(2) 露光に使用するマスクを製作するマスク製造工程(またはマスクを準備するマスク準備工程)

(3) ウェーハ上に形成されたチップを一個ずつ切り出し、動作可能にするチップ工程

25 (4) 前記電子線装置を用いて完成したチップを検査する検査工程

「22」(半導体デバイス製造方法：マスクのチェック)

、上記記載の電子線装置を用いて欠陥検査を行ったマスクを使う半導体デバイスの製造方法である。

具体的一例は、以下の各ステップを備える半導体デバイスの製造方法である。

(1) マスクを製造する工程

(2) 製造された前記マスクを前記電子線装置を用いて検査を行う工程

(3) 検査を終えた前記マスクを用いて、各種チップを製造する工程

5 また、前記電子線装置は、ウエハプロセス工程におけるリソグラフィ工程に用いることもできる。この場合、薄膜層やウエハ基板等を選択的に加工するために前記電子線装置によって検査されたマスクを用いてレジストパターンを形成する。

以下、図面を参照して、第3の発明の好ましい実施例について詳細に説明する。

10 図29は、第3の発明の実施例に係る電子線装置及びこの電子線装置を用いた検査装置であり、図左側に電子線装置10'を、図右側に制御部100'を示す。図30は電子線装置10'の詳細な構成を示す。

(電子線装置10')

15 電子線装置10'は、その略構成として、電子ビームを放出する電子銃12'、その下流側に電子ビームを任意の矩形に成形する成形開口16'、一次電子線と二次電子線とを分離するE×B分離器20'、結像された電子ビームを拡大する機能を備えた電子レンズ(拡大レンズ38')、試料34'とその試料34'を支える試料台36'と、上記試料の試料面34a'の近くに設けられた電子レンズ(対物レンズ32')を備える。また、1次経路上及び2次経路上にNA開口40'を設け、2次経路上に検出器70'を設ける。

20 電子銃12'は、電子放出材12a'を加熱することにより電子を放出する熱電子線源タイプが用いられている。カソードとしての電子放出材(エミッタ)は、ランタンヘキサボライド(LaB₆)が用いられている。高融点(高温での蒸気圧が低い)で仕事関数の小さい材料であれば、他の材料を使用することが可能である。本実施例においては、電子銃12'は、先端曲率半径30μmRと小さい
25 単結晶LaB₆カソード12a'を有し、空間電荷制限条件で動作させる事により、高輝度でしかもショット雑音の小さい電子線を放出することができるようになっている。また、ウェーネルト12b'とアノード12c'間の距離を8mm以上に大きくし、電子銃電流を高輝度になる条件を探せば輝度をラングミュア制限より大きい値にすることもできる。

5 このように、本実施例における電子銃12'は、熱電子カソード12a'を有し、空間電荷制限条件にて動作するものが望ましい。また、電子銃12'には、FE（フィールドエミッタ）、TFE（サーマルフィールドエミッタ）、ショットキーカソードを有する光源像の小さな電子銃を用いてもよい。なお、上記「空間電荷制限条件」とは、カソードの温度をある一定以上に高めて、電子線の放出量がカソードの温度に影響されにくい条件をいう。

10 電子銃12'の放出方向に向けて（図中右斜下）、第1の電子レンズが設けられ、これをコンデンサレンズ14'とする。更に1次電子線の経路上の下流には、成形開口16'と第2の電子レンズを設ける。この第2の電子レンズを照射レンズ18'とする。電子銃12'から放出された1次電子線は、コンデンサレンズ14'で収束され、成形開口16'を照明する。成形開口16'を通ることにより所望の形状に成形された成形ビームとなり、偏向器（図中省略）で任意に偏向されることで試料34'の被検査領域のある瞬間での領域を照射する。

15 この実施例においては、成形開口を光路に沿って2枚配置し、その間に偏向器を入れ偏向器を調節することにより、可変成形ビームにすることにより、照射領域を調節することも可能であるが、成形開口16'を寸法の異なる複数の開口で代用させ、機械的に照射領域を調整する方式は鏡筒長を短くできるメリットがある。

20 この実施例は、一つもしくは複数の偏向器により、1次電子ビームを偏向させ、これとステージの移動とで試料全体を走査するものであるが、上記各レンズ（14'、18'）いずれかの焦点距離を変えることにより小径のクロスオーバー像を、試料面34a'上に形成、走査するようにしてもよい。また、成形開口を複数設け、その重なりを小さくして小径の電子線を形成し、この電子線を走査させレジストレーションに利用するようにしてもよい。

25 成形開口16'を通過し、試料34'を照射する電子線の照射領域は、長辺と短辺とを有する長方形々状が望ましい。そして、上記照射領域の長辺方向の画像形成は同時に行い、上記試料台36'を短辺方向に移動させることで、上記照射領域の短辺方向の連続移動を行う。試料台36'を連続移動させながら検査を行うので、主視野の幅が小さくても高スループットで検査が行える。

上記照射レンズ18'の下流には、E×B分離器'20を設ける。試料面34a'に対して斜めに照射された電子ビームは、E×B偏向器20'により、偏向され、試料面34a'に対して垂直方向となる。偏向させる角度は適宜に決定すればよく、この実施例では5°～30°の範囲内とする。

- 5 E×B分離器20'より下流には、2次光学系の収差を小さくする役割を備えたNA開口40'とダブレットレンズ（ダブルの電子レンズ）を設ける。ダブレットレンズにおいて、便宜上、試料34に近いものを一段目とし、対物レンズ32'とする。E×B分離器20'に近いものを二段目とし、拡大レンズ38'とする。E×B分離器20'と試料34'の間は、NA開口40'、拡大レンズ38'、対物レンズ32'、試料34'の順で配置する。

- 10 電子ビームが試料面34a'に照射されると2次電子線が放出され、この2次電子線は上記ダブレットレンズ（32'、38'）とNA開口40'を通過する。NA開口40'により2次電子の収差は小さくなる。その後、2次電子線はE×B偏向器20'で所定角度偏向される。この実施例では5°～20°の範囲内とする（図では、電子銃12'の反対側に10°傾ける）。偏向された2次電子線の向きに対して、垂直となるよう検出器70'を配する。2次電子線は検出器70'を垂直に照射する。

（検出器70'）

- 20 検出器70'は、像質を落とさないで電子を増倍するMCP（マルチチャンネルプレート）と、FOP（ファイバオプティカルプレート）とを備えていてもよい。電子線が照射される方向に沿って、MCP及びFOPの順で設けられている。検出器70'は、更に、真空窓と、リレー光学系としての光学レンズ、複数の画素を有する検出センサとしてのTDI検出器とを備えている。

- 25 なお、この検出器70'の構成は、上記構成に限ることはなく、MCPを用いない形態のほか、電子ビームに反応する素子を用いたCCD（EBCCD）を用いて構成されてもよい。

（制御部100'）

制御部100'は、図29に例示されたように、汎用的なパーソナルコンピュータ等から構成することができる。このコンピュータは、所定のプログラムに従

って各種制御、演算処理を実行する制御部本体101'と、制御部本体101'の処理結果を表示するCRT103'と、オペレータが命令を入力するためのキーボードやマウス等の入力部105'と、を備える。もちろん、上記構成は、検査装置専用のハードウェア、或いは、ワークステーションなどから制御部100'を構成してもよい。

制御部本体101'は、図示しないCPU、RAM、ROM、ハードディスク、ビデオ基板等の各種制御基板等から構成される。RAM若しくはハードディスクなどのメモリ上には、検出器70'から受信した電気信号即ち試料34'から放出された2次電子線による画像のデジタル画像データを記憶するための電子画像記憶領域107'が割り当てられている。また、ハードディスク上には、予め欠陥の存在しない試料の基準画像データを記憶しておく基準画像記憶部109'が存在する。更に、ハードディスク上には、欠陥検査装置全体を制御する制御プログラムの他、記憶領域107'から電子画像データを読み出し、該画像データに基づき所定のアルゴリズムに従って試料34'の欠陥を自動的に検出する欠陥検出プログラム111'が格納されている。この欠陥検出プログラム111'は、基準画像記憶部109'から読み出した基準画像と、実際に検出された電子線画像とをマッチングして、欠陥部分を自動的に検出し、欠陥有りと判定した場合、オペレータに警告表示する機能を備える。また、隣のチップの同一場所の検出された電子画像同志、あるいは同一チップ内の異なる場所の同一セルでの検出画像同志をマッチングすることもできる。このとき、CRT103'の表示部に電子画像103a'を表示するようにしてもよい。

(本実施例の特徴)

(1) NA開口像の結像

本実施例に係る電子線装置においては、1次電子線と2次電子線とに共通する経路上にNA開口40'が設けられている。更に、対物レンズ32'は試料34'の近くに配置する。そして、1次電子線に関し、電子銃12'が作るクロスオーバと対物レンズ32'の主面とNA開口40'とが、それぞれ共役関係となるように配置する。これにより、電子銃12'が作る光源像はNA開口40'において結像され、更に、NA開口40'の像は、対物レンズ32'の主面もしくは主

面近傍に結像される。これにより、1次電子線が、対物レンズ32'の主面もしくは主面近傍において光軸付近に集中し、光束を小さくでき、これによって、収差を小さくすることができる。

5 また、この実施例では、成形開口16'と試料面34a'を共役面とする。また、電子銃12'のクロスオーバー像をNA開口40'に形成する。この実施例では、以上の構成により、光源像がNA開口40'に結像し、成形開口16'の開口像が試料面に結像する条件が満たされ、ケーラー照明条件をも充足する。以上の構成により、NA開口の像が対物レンズに結像されるので対物レンズでの光束が小さく低収差にすることができる。

10 また、この実施例では、1次電子線はケーラー照明条件を満たし、また、二段の電子レンズ（対物レンズ32'、拡大レンズ38'）を構成する。これにより、光路長の短い1次光学系ができる。

15 上記したように本実施例においては、NA開口による像を試料面の近くに配した電子レンズとしての対物レンズ32'の主面もしくはその近くに形成される様にした。かかる構成により、2次電子は、試料の視野の中央ないしはその端から放出されたものも対物レンズ32'の中央方向へ向かうもののみが2次光学系で受け入れられるので、対物レンズでの光束が小さく低収差となる。

2次電子の強度分布が不均一になる理由を図31に示す余弦法則に基づいて説明する。

20 試料からの2次電子は符号43'で示す余弦法則に従って放出される。即ち、放出点Oから任意角度方向へ放出される2次電子の強度は放出点Oと符号43'で示す円周との交点迄の距離に比例する。従って、試料の視野の中央から放出された2次電子の内、2次光学系に受け入れられる量は、符号41'で示す角錐と余弦法則による球状（その一断面を円周43'と示す）で囲まれた体積に比例する。
25 一方、視野の右端から放出される2次電子のうち、2次光学系に受け入れられるものは、符号42'で示す角錐の範囲内である。

角錐41'と角錐42'とは、その頂点の角度 α が同じであるにも関わらず、その体積は角錐41'のほうが大きい。角錐41'は円弧ABを含み、角錐42'は円弧CDを含む。両角錐（41'、42'）の比較により、右端から放出される

2次電子は、試料34'の中央（光軸11'上）から放出される2次電子より少ない。従って、光軸11'上は明るく、光軸11から離れた位置の2次電子線は暗くなる傾向となる。

この実施例に係る電子線装置は、レンズなどの配置がテレセントリックにはな
5 っていない（テレセントリックにおいては、光軸でも光軸から離れた箇所でも、
1次電子線が試料面に対して垂直に照射される）。そのため、1次電子線は、光軸
もしくはその近傍において、試料面に対して垂直に照射されるが、光軸から離れ
れば離れるほど傾斜して試料面に対して照射され、試料面上での光軸から離れた
10 端の部分における1次電子線の強度が弱くなり、放出される2次電子線の強度も
弱くなることになる。したがって、成形開口を図32（a）及び図32（b）に
示すような形状にして、成形開口の端を通る1次電子線の量を大きくし、これ
によって、試料面上での光軸から離れた端の部分における1次電子線の強度を強
くし、試料面の端に対して傾斜して照射されても、放出される2次電子線の強度
を結果として、試料面上での光軸部分と同程度となるようにした。

15 すなわち、本実施例においては、1次電子線を試料面に照射し、試料から放出
される2次電子を像として拡大し検出する電子線装置に於いて、試料面に入射さ
せる1次電子線のビーム形状を光軸近くで強度が小さく、光軸から離れた場所
では強度が大きい分布を有するようにすることにより、2次光学系に受け入れられ
る2次電子は光軸からの距離に依存せず、一定になるようにし、検出信号強度も
20 光軸からの距離に依存せず一定となるようにした。

この点について、以下にさらに詳細に説明する。

（2）成形開口像

上述したように、対物レンズ32'の主面、もしくは、主面近傍に、NA開口
像が結像する。この場合、放出される2次電子の量は光軸近くで大きく、光軸か
25 ら離れると小さくなる問題が生ずる。この問題を解決するために、本実施例にお
ける成形開口16'の形状を図32（a）に示すようにした。この図は、成形開
口16'の開口を光軸11'の上流側から下流側に向けて示すものである。図中、
符号16a'（開口形状）で囲まれる領域の内側は、開口部16b'であって、1
次電子が通過する領域である。符号16a'の外側は、開口枠16c'であって

1 次電子を遮断する。

図に示すように、開口部 1 6 b' の中央付近（光軸 1 1 付近）の開口幅 W 1' は、一定とする。中央付近から所定距離分両端方向に離れると、開口幅を徐々に拡大させ、両端では、その幅を開口幅 W 2' とする。開口部 W 2' の幅は 1 次光
5 学系のビームボケより狭くする。開口幅 W 1' と開口幅 W 2' との比率は、2 次電子線の強度が光軸 1 1' 付近とその他の部分で同程度となるようにする。本実施例では開口幅 W 1' に対して開口幅 W 2' を 1.5 ないし 4 倍程度とする。

成形開口の開口部 1 6 b' を通過し、試料面 3 4 a' に到達した 1 次電子線の照射強度を図 3 2 (b) に示す。開口部 1 6 b' を通過した 1 次電子線は、光軸
10 からの距離に依存して増加する。図 3 2 (b) に示すように、開口部 1 6 b' を通過し、レンズ 3 8' と 3 2' とで試料上 3 4 a' に結像された 1 次電子線の外形 1 7 a' は、略長方形々状となる。

外形 1 7 a' の内側に示される曲線は、1 次電子線の大きさを示す等高線 1 7 b' ~ 1 7 e' である。等高線 1 7 b' から等高線 1 7 e' に向けて、その量は
15 大きくなっている。量が両端に向けて大きくなるのは、開口部 1 6 b' の形状が、両端に向けて大きくなっているため、両端側の方が、開口部 1 6 b' を通過する電子ビームが多いからである（開口幅 W 2' > 開口幅 W 1'）。

照射強度がもっとも大きいのは、図 3 2 (b) の中で A-A 断面であり、その強度分布を図 3 3 に符号 A と示す。図 3 3 は、横軸に照射幅を、縦軸に照射強度
20 を示すものである。B-B 断面における強度分布を符号 B と、C-C 断面（中央）における強度分布を符号 C と示す。図 3 3 に示すように、上記各断面の横軸方向の幅はすべて等しい。一方、その高さが異なることから、同じ幅を有する電子線であっても、その強度は光軸 1 1 からの距離に応じて異なっていることが分かる。照射強度は A-A 断面が最も大きく、B-B 断面及び C-C 断面の順で小さくな
25 る。このような強度分布を有する 1 次電子線で試料面 3 4 a' を照射すれば、2 次電子系に受け入れられる 2 次電子は光軸 1 1' からの距離に依存せず、一定となる。また、開口形状 1 6 a' を適宜に調整することにより、2 次電子の強度を一様にすることができる。本実施例は、上述したように、テレセントリック照明ではない。

(3) (E×B分離器 20)

次にE×B分離器 20' の機能について述べる。図 30 に示すようにE×B分離器 20' は電磁偏向器 22' と静電偏向器 24' から構成されている。静電偏向器 24' は電磁偏向器 22' の内側に配置される。静電偏向器 24' と電磁偏向器 22' との偏向量が1:2になるように構成されている。試料面 34a' から放出される2次電子の光軸方向を基準線 60' と示す。静電偏向器 24' と電磁偏向器 22' との偏向量が1:2になるように構成したので、2次電子が二段目の拡大レンズ 38' からE×B分離器 20' に入射すると電磁偏向器 22' で基準線 60' から右へ20度偏向され、同時に、静電偏向器 24' で左へ10度偏向される。これにより、基準線 60' に対して2次電子の光軸は、差し引き右へ10度偏向される。検出器 70' は、基準線 60' から10度右へ傾いた軸 200' に直角となるよう配置される。検出器 70' はE×B分離器 20' から所定の距離だけ離して配置する。上記したように、この実施例は、2次電子を電場と磁場の双方により偏向させる。そして、その偏向感度は、磁場による偏向を右に20°とし、電場による偏向を左に10°とするように、磁場による偏向を電場によるものの反対方向とし、かつ、2倍とする。

4502 eVのエネルギーの2次電子を電磁偏向器 22' で右に20°偏向させるよう設定され、静電偏向器 24' において左に10°偏向させるよう設定されたE×B分離器 20' において、4501 eVの2次電子線の偏向角は次の通りである。

まず、電磁偏向器 22' による偏向角は $(4502/4501)^{1/2} \times 20^\circ$ 右へ偏向される。次に、静電偏向器 24' での偏向角は $(4502/4501) \times 10^\circ$ 左へ偏向される。そして、その差を求めると、

【数 1】

$$\begin{aligned} & \left(\frac{4502}{4501} \right) \times 10 - \sqrt{\frac{4502}{4501}} \times 20 \\ 25 \quad & = 10 \times \left(1 + \frac{1}{4501} \right) - 20 \times \left(1 + \frac{1}{4501} \right)^{1/2} \end{aligned}$$

ここで、第1項及び第2項の括弧内は1に近似できるので、
 $\approx 10 \times (1) - 20 \times (1) = -10$ (右に10°偏向する)

となる。このように静電偏向器 24' と電磁偏向器 22' との偏向の差は約 -10° となり、4501 eV の電子線も 4502 eV の電子線と同様に右に 10° 偏向することが分かる。即ち、この実施例により、異なるエネルギーの 2 次電子であっても、E×B 分離器 20' で同じ角度偏向される。これにより、偏向色収差量を小さくすることができる。偏向させる角度としては、 $7^{\circ} \sim 15^{\circ}$ 程度が望ましい。また、対象とする電子線のエネルギーも 4500 eV に限定する必要はなく、4500 eV 程度、もしくは、4000 eV \sim 5000 eV 程度で実施は可能である。

更に、2 次電子の経路上に二段のレンズを配置し（対物レンズ 32' と拡大レンズ 38'）、そして、E×B 分離器 20' は、2 次電子線経路において最も下流に配置された拡大レンズ 38' より下流側、すなわち、拡大レンズ 38' と検出器 70' との間に配置する。更に、本実施例では、E×B 分離器 20' の位置を拡大レンズ 38' に対して検出器 70' 側とする。

これにより、静電偏向器 24' と電磁偏向器 22' との偏向感度が 1 : 2 からわずかに狂っていても、E×B 分離器 20' と検出器 70' との間の距離が短い
ため、偏向色収差があっても、検出器 70' 上ではサブミクロンの収差量となる。
更に、検出器 70' 上においてピクセル寸法は拡大されている（例えば、50 nm
ピクセルで 640 倍とすれば 32 μ m ピクセルサイズとなる）ので、半導体デ
バイスの検査精度において、上記収差量は全く問題とならない。特に、この実施
例は、E×B 分離器 20' の位置を拡大レンズ 38' より検出器 70' 側とする
ことで、その収差量を更に小さくすることができる。

2 次電子線を偏向させるための E×B 偏向器 20' の構成としては、電磁偏向器 22' のコイルの巻数を増減したり、加える電圧や電流を増減してもよい。更に、静電偏向器 24' の電極間、ギャップを調整し、所定角度だけ、2 次電子を
偏向させる形態であってもよい。さらに 2 次電子線は 2 次電子に限定されるので
はなく、後方散乱電子であってもよい。

（実施例 2）

第 3 の発明の第 2 の実施例に係る電子線装置を図 34 に示す。図 34 は、ステ
ンシルマスクを試料とし、このステンシルマスクの検査を行う電子線装置である。

この実施例は、LaB6カソードを有する電子銃212'から放出された電子線（1次電子線）をコンデンサレンズ214'、及び、長方形の開口を備えた成形開口216'に照射させ、成形開口216'を通った電子線を照射レンズ218'を通過させ、試料であるステンシルマスク234'を照射させる。

- 5 ステンシルマスク234'の下流側には、拡大レンズとして、第1の電子レンズ（対物レンズ232'）と、更に下流に、第2の電子レンズ（拡大レンズ238'）を設ける。ステンシルマスク234'を透過した電子線（透過電子線）は、対物レンズ232'と拡大レンズ238'で二段に拡大され、検出器270'に拡大像を作る。上記2段レンズの下流であって透過電子線の経路上にNA開口240'を設ける。NA開口240'は拡大レンズ238'の近傍で検出器側とする。NA開口240'の下流には、検出器70'を設ける。この実施例において、検出器270'には電子ビームを感知する素子を用いたEBCCDを用いる。検出器で検出された画像は、図29に示す電子線装置10'と同様に制御部100'に送られ、所定の解析、検査工程が実施される。

- 15 この実施例では、電子銃212'が作るクロスオーバと対物レンズ232'とNA開口240'をそれぞれ共役関係とする。更に、1次電子線の経路上に成形開口216'を設け、この成形開口216'と試料234'（試料面）とが共役関係となるように配置する。これにより成形開口216'による像は試料234'（試料面）に形成される。また、電子銃212'が作るクロスオーバ像は対物レンズ232'の主面、若しくは、主面近傍に形成される。

以上の構成により開口像に寄与する電子線は対物レンズ232'付近では光軸205'近くを通るので、検出される像を低収差にすることができる。また、ケーラー照明条件が満たされることとなる。

（拡大像の位置）

- 25 1段目の電子レンズとしての対物レンズ232'によるステンシルマスク234'の像（拡大像）を2段目の拡大レンズ（2段目の電子レンズに対応）238'の手前、すなわち、上流側にある特定の位置231'に結像させたときに検出される像の歪収差が最小になることがシミュレーションで明らかになった。そこで、以下、この拡大像を設ける位置について説明する。なお、このシミュレーション

における補正パラメータとして、図 3 4 に示す拡大像 2 3 1' と拡大レンズ 2 3 8' の距離 L のほか、光軸 2 0 5' からの距離の 3 乗に比例する 3 次の歪と、光軸 2 0 5' からの距離の 5 乗に比例する 5 次の歪を評価する。

- 5 拡大像 2 3 1' を設ける位置と拡大レンズ 2 3 8' との距離 L を変化させたと
きの歪を図 3 5 に示す。図中の横軸は上記距離 L を示し、縦軸は計算により求め
た歪の大きさを示す。そして、図中、左側の曲線が 3 次の歪 S_3 であり、右側の
曲線が 5 次の歪 S_5 を示す。なお、歪 S_3 が正の値であるのに対して、歪 S_5 は
負の値であるので、この図 3 5 は両値の絶対値を示す。

- 10 図に示すように、シミュレーションの結果、両歪 (S_3 , S_5) が 0 になると
きの距離 L は一致しないことが判明した。3 次の歪 S_3 が 0 になるのは、距離 L
3 のときであり、5 次の歪 S_5 が 0 になるのは距離 L 5 のときである。即ち 3 次
と 5 次の歪を同時に 0 とすることはできない。そこで、この実施例では、両者の
絶対値がほぼ等しくなる距離 L_1 を適切な距離 L_1 として採用する。この距離 L
1 は、3 次と 5 次の歪収差の絶対値が最小となる値である。

- 15 上記距離 L_1 としたときの、3 次の歪 S_3 と 5 次の歪 S_5 の歪を図 3 6 に示す。
図 3 6 は、横軸に光軸 2 0 5 からの距離をとり、縦軸に歪をとったものである。
歪は光軸 2 0 5 に対して左右対称であるので、図 3 6 では右側だけの歪を示す。
図中、上に向いた曲線は 3 次の歪 S_3 、下に向いた曲線は 5 次の歪 S_5 であ
る。そして、両者の差を符号 S_7 1 として示す。図に示すように、補正パラメー
20 タを最適化することにより、歪を約 20 % 小さくすることができた。これにより、
検出される像の歪収差及び倍率色収差を更に小さくすることができる。

- 更に、本実施例は、3 次と 5 次の歪収差の絶対値が最小となる距離だけでなく、
5 次の歪 (歪収差) の絶対値が 3 次の歪 (歪収差) の絶対値より 5 % ~ 15 % 大
きくなるように距離 L を設定してもよい。5 次の歪 S_5 が 3 次の歪 S_3 より 1
25 0 % 大きくなる距離 L を距離 L_2 とする (図 3 5 参照)。この距離 L_2 としたとき
の、3 次の歪と 5 次の歪を求め、その差を図 3 6 に符号 S_7 2 として示す。歪の
差 S_7 2 は、歪の差 S_7 1 より更に小さくなり、13 % となる。

この補正パラメータに応じて、一段目の電子レンズ (対物レンズ 2 3 2', 実施
例 1 であれば対物レンズ 3 2') が作る拡大像の位置を設定するシミュレーション

の構成を、実施例 1 に用いた図 2 9 を参照して説明する。シミュレーションによって、歪収差の 3 次と 5 次の値を算出し、それらの絶対値を求めるプログラム 1 1 3 を備える。更に、プログラム 1 1 3' により算出されたそれらの和の絶対値が最小となるか、もしくは、5 次の歪の絶対値が 3 次の歪のそれより 5 ~ 1 5 % 程度大きくなるように一段目の電子レンズ（拡大レンズ）が作る拡大像の位置を設定するプログラム 1 1 5' とを備える。拡大像の位置は、対物レンズ 2 3 2' における電界の強度を調節することで行う。

（試料の Z 位置の移動）

ステンシルマスクとして現在 2 種類が考えられる。一つはマスクの 1 / 4 の像をウェーハに縮小する転写装置に使われるマスクと、他の一つは 1 : 1 の転写装置（L E E P L）に使われるマスクである。前者は分解能はそれ程必要ないが、マスク面積が $25\text{mm} \times 40\text{mm} \times 16 = 16000\text{mm}^2$ と大きく高いスループットが要求される。一方、後者はマスク面積は $25\text{mm} \times 40\text{mm} = 1000\text{mm}^2$ と小さいが、高解像度が要求される。

この様な 2 種類のステンシルマスクを検査するため、ステンシルマスクを透過した透過電子像の倍率を可変にすることが重要になる。収差を悪くしないで倍率を変えるには、ステンシルマスク 2 8' と対物レンズ 2 9' としての拡大レンズ間の距離、即ち、ワーキングディスタンス 3 1' を変えるのがよいことがシミュレーションの結果明らかになった。

そこで、本実施例においては、透過電子像を拡大する拡大率を変えるとき、試料としてのステンシルマスク 2 3 4' と対物レンズ 2 3 2' との間の距離を変化させるようにした。これにより、収差を悪くすること無く透過電子像の倍率を可変にすることが可能となる。

ステンシルマスク 2 3 4' を透過した透過電子像の倍率を可変にするため、この実施例では、ステンシルマスク 2 3 4' の位置を光軸 2 0 5' 方向に移動可能とする。図 3 4 では、移動後のステンシルマスク 2 3 4' の位置を符号 2 3 4 a' と示す。符号 2 3 4' の位置で拡大率が 6 4 0 倍のところ、符号 2 3 4 a' に移動させることで、すなわち、対物レンズ 2 3 2' から離すことによって 3 2 0 倍の拡大率となる。このように、この実施例は、試料 2 3 4' と対物レンズ 2 3 2'

との距離を可変可能とする

この場合の1次電子線は、NA開口240'によるクロスオーバの結像条件はそのままとし、成形開口216'によるマスク像の結像条件はボケを許容すれば足りる。そこで、望ましい実施例として、成形開口216'には、形状の異なる開口部を複数設ける。図34では、それらを符号216a'~c'と示す。上記透過電子像の倍率を変えたとき、成形開口216'の寸法を符号216a'~c'のいずれかに交換することによって照明領域を変えるのが望ましい。

ステンシルマスク234'の位置を移動させる手段、言い換えると、試料（ステンシルマスク234'）と近接して配置された電子レンズ（対物レンズ232'）との距離を調節する手段としては、ステンシルマスク234'に何からのアクチュエータを連動させ、移動させる形態で実施可能である。また、ステンシルマスク234'を保持するカセットと、そのカセットを受け入れるホルダー部とを設け、カセットごとにステンシルマスク234'を保持する位置を変化させ、試料を変更する際には、カセットごと取り替えることで、上記試料と対物レンズとの距離を変更させる形態であってもよい。

（対物レンズ301'の構造）

2次電子もしくは透過電子の拡大像を作る場合、倍率色収差が十分補正されると、軸上色収差が収差を決める。特に2次電子等の透過率を向上させるには軸上色収差を低減させることが重要になる。図37は大きい開口角で軸上色収差を小さくするための対物レンズ300'の構造を示したものである。この対物レンズ300'は、図29に示した対物レンズ32'あるいは図34に示した対物レンズ29'として用いることができる。図37は、対物レンズ300'の光軸299'に沿った縦断面である。図中の符号299'は光軸を示している。対物レンズ300'としての電磁レンズは、環状構造をしており、その中心に電子線を通すための経路が形成されている。電磁レンズ300'は、その試料側に、環状のレンズギャップ305'が試料303'側に向いて形成されている。この実施例においてレンズギャップ305'の位置は、光軸299'を中心に対称の位置とする。レンズギャップ305'の幅は、電磁レンズ300'の設計に応じて適宜に設定可能である。

このレンズギャップ305'を設けた場合の軸上磁場分布が、図中、B1として示されている。従来の構成である光軸側299'にレンズギャップ307'を設けたときの軸上磁場分布をB2として示す。軸上磁場分布B1において、最大値のZ位置をP1、軸上磁場分布B2において最大値のZ位置をP2とすると、
5 位置P2より位置P1の方が試料303'に近い。このように、レンズギャップ305'を試料303'側に設けることで、最大値を示すZ位置を試料側に形成することができる。これにより、軸上色収差係数を小さくすることができる。

更に、電磁レンズ300'と試料303'との間には2枚の静電レンズ用電極を設けることが望ましい。この実施例では、電磁レンズ300'と試料303'
10 との間に静電レンズとしての電極309'と、311'とを設ける。そして、電極309'に正の高電圧を印加し、電極311'と電磁レンズ磁極301'とを接地することによってこれらの構成はユニポテンシャルレンズとして機能する。また、試料303'に負の高圧を印加することによっても、減速電界レンズとして機能させることができ、軸上色収差をさらに小さくできる。

15 電磁レンズ300'のレンズギャップ305'と光軸299'との間の距離L10を変えることによって、軸上磁場分布のピークを、二枚の静電レンズ(309'、311')のうち、電極309'の位置に合せることによって収差を小さくすることもできる。図中、その位置を符号P3と示す。なお、電極309'は電磁レンズ300'側に配置された電極である。この場合電極を309'一枚とし
20 てもよい。

第3の発明の実施例に係る電子線装置をデバイス製造方法に適用する場合、かかるデバイス製造方法は、例えば、図16及び図17Aに示すものと同じような工程から構成することができる。

1. 第3の発明に係る実施例では、対物レンズの主面近くに開口あるいは開口像
25 を設けるので、パターン像に寄与する電子線は対物レンズ付近では光軸近くを通るので、低収差にできる。更に、成形開口の形状を調整することで2次電子の強度を一様にできる。

2. また、E×B分離器を最終の電子レンズと検出器の間に配置したので多少偏向収差があっても、ピクセルサイズに比べて小さい収差に押さえられる。

3. さらに、電磁偏向量を静電偏向量の2倍にすることで、エネルギーの異なる電子線もほぼ同程度偏向させることができ、その結果、偏向色収差量を小さくできる。

4. また、第2の実施例では二段レンズで倍率色収差を低減して歪も小さい値にできる5ので、ステンスルマスクを高精度で検査できる。更に、試料であるステンスルマスク位置を光軸上で変化させることによって収差を増さないで倍率を変えることができる。

5. また、レンズギャップを試料側に設けることで軸上色収差の小さいレンズ構造ができる。更に、電磁レンズと静電レンズを組み合わせることで、更に、軸上10色収差を小さくすることができる。

6. さらに、1次電子線はケーラー照明条件を満たし、また、二段の電子レンズを構成することで、光路長の短い1次光学系ができる。

Although only some exemplary embodiments of this invention have been described in detail above, those skilled in the art will readily appreciated that many modifications are possible15 in the exemplary embodiments without materially departing from the novel teaching and advantages of this invention. Accordingly, all such modifications are intended to be included within the scope of this invention.

20 The entire disclosure of Japanese Patent Application No. 2002-253197 filed on August 30, 2002, No. 2002-319687 filed on November 1, 2002 and No. 2003-000178 filed on January 6, 2003 each including specification, claims, drawings and summary is incorporated herein by reference in its entirety.

What is claimed is:

1. 電子線を放出して当該電子線を試料に照射するための電子銃と、試料を透過した電子線を拡大する電子レンズと、前記拡大された電子線を検出して、試料の画像を形成する検出器とを備えたことを特徴とする電子線装置。
- 5 2. 請求項1に記載した電子線装置において、
前記試料はステンシルマスクあるいはメンブレン上にパターンが形成されているマスクであることを特徴とする電子線装置。
3. 請求項1又は2に記載した電子線装置において、
さらに、電子銃と前記試料との間に設けられたNA開口を備え、前記電子線を
10 前記NA開口を通すことにより、平行性の良い電子線を前記試料に照射することを特徴とする電子線装置。
4. 請求項1ないし3のいずれか1項に記載した電子線装置において、
さらに、電子銃と前記試料との間に設けられた少なくとも1個の成形開口を備え、
15 前記電子線が前記成形開口を通過して前記試料面に照射されることにより、前記成形開口の像が前記試料の面上に結像されることを特徴とする電子線装置。
5. 請求項1ないし3のいずれか1項に記載した電子線装置において、
さらに、当該電子線装置の光軸の近くに設けられた複数の成形開口を備え、
該複数の成形開口の相互の重なりを変化することにより、前記試料を照射する
20 面積を変更できるようにしたことを特徴とする電子線装置。
6. 請求項1ないし5のいずれか1項に記載した電子線装置において、
前記電子銃は熱電子放出カソードを有し、空間電荷制限条件で動作することを特徴とする電子線装置。
7. 請求項1に記載した電子線装置において、
25 さらに、前記試料と前記検出器との間に設けられた少なくとも2段の電子レンズを備え、前記電子線は、前記試料を通り、さらに、前記2段の電子レンズを通過して前記検出器に照射されることを特徴とする電子線装置。
8. 請求項1に記載した電子線装置において、
さらに、前記電子銃と前記試料との間に設けられた照射レンズ系の入射ひとみ

を備え、光源像が前記入射ひとみに結像されていることを特徴とする電子線装置。

9. 請求項8に記載した電子線装置において、

さらに、前記試料と前記検出器との間に設けられた拡大レンズを備え、

前記拡大レンズの拡大率を、前記電子線の試料上での照射領域の大きさに対応

5 させて可変にすることを特徴とする電子線装置。

10. 請求項5に記載した電子線装置において、

該複数の成形開口の相互の重なりを変化することにより、前記試料上での前記電子線の照射領域を長辺と短辺を有する長方形状とし、

前記試料を載置するための試料台を備え、

10 前記試料を載置した試料台を前記短辺の方向に連続移動させながら前記試料の検出を前記検出器で行うことを特徴とする電子線装置。

11. 請求項1に記載した電子線装置において、

前記電子線をステップ的または連続的に走査させるための走査手段を備えたことを特徴とする電子線装置。

15 12. 請求項1に記載した電子線装置において、

前記検出器は、

電子線を光の像に変えるシンチレータと、

前記シンチレータが作る光の像の大きさを調整する光学レンズ又はその光の像を1対1に写す光学系と、

20 前記光学レンズで大きさが調整された光の像が結像させられるCCD検出器又はTDI検出器の一方とを備えたことを特徴とする電子線装置。

13. 請求項1に記載した電子線装置において、

前記電子銃は、FE又は、TFE又は、ショットキーカソードとを有する光源像の小さな電子銃であることを特徴とする電子線装置。

25 14. 請求項1に記載した電子線装置において、

前記電子銃は、前記試料の下側に配置され、

前記試料の欠陥を検出する検出器は、前記試料の上側に配置されることを特徴とする電子線装置。

15. 請求項1に記載した電子線装置において、

前記電子銃と前記検出器との間に電子線を拡大する複数の拡大レンズを備えており、

前記試料を透過した電子線を最初に拡大する拡大レンズは、ダブルットレンズであることを特徴とする電子線装置。

5 16. 請求項15に記載した電子線装置において、

前記複数の拡大レンズの間に設けられたNA開口を備え、

前記NA開口は、前記試料で散乱された平行度の悪い電子線をで取り除くことができることを特徴とする電子線装置。

17. 請求項12に記載した電子線装置において、

10 前記シンチレータを真空中に配置し、

前記光学レンズと前記CCD検出器又はTDI検出器とを大気中に配置し、

前記シンチレータと前記光学レンズとの間に、前記光の像を、大気中に配置された前記光学レンズに向けて取り出すための真空窓を備えたことを特徴とする電子線装置。

15 18. 請求項12に記載した電子線装置において、

前記シンチレータと、前記光学レンズと、前記CCD検出器又はTDI検出器とを真空中に配置したことを特徴とする電子線装置。

19. 請求項1に記載した電子線装置において、

前記検出器は、画像検出器を備えており、

20 前記画像検出器は、MCPとEB-CCD検出器またはEB-CCDとからなり、または、MCPとEB-TDI検出器またはEB-TDIとからなることを特徴とする電子線装置。

20. 請求項1に記載した電子線装置において、

25 前記試料を前記電子線で走査した際に発生する2次電子または後方散乱電子を検出するための第2の検出器を、前記試料と前記電子銃の間に設けたことを特徴とする電子線装置。

21. 請求項20に記載した電子線装置において、

レンズ焦点距離を変えることにより又はクロスオーバー像を形成し、当該クロスオーバー像で前記試料の試料面上を走査し、又は、二つの成形開口の重なりを小さ

くして小拡の電子線を形成し、当該小拡の電子線で前記試料の試料面上を走査し、これにより、前記試料のレジストレーションを行うことを特徴とする電子線装置。

22. 請求項1に記載した電子線装置において、

前記装置の等価周波数を200MHz以上としたことを特徴とする電子線装置。

5 23. 請求項1乃至請求項22のいずれかに記載した電子線装置において、

さらに、基準パターンデータを予め記憶した記憶装置と、

前記試料を透過した電子線により得られる画像データと前記パターンデータとを比較する制御装置とを備え、

前記制御装置は、前記画像データと前記パターンデータとの比較に基づいて、

10 前記試料の欠陥検査を行うことを特徴とする電子線装置。

24. 電子銃から放出された電子線をステンシルマスクに照射し、前記ステンシルマスクを透過した電子を検出して前記ステンシルマスクの欠陥を検出することを特徴とする電子線装置。

25. 請求項24に記載した電子線装置において、

15 前記電子線照射部は複数の光学系から構成されていることを特徴とする電子線装置。

26. 請求項22乃至請求項25のいずれか1項に記載した電子線装置を用いて、欠陥検査を行ったステンシルマスクを使うことを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

20 27. ウェーハ又はマスクのための半導体製造装置であって、欠陥検査装置を内蔵することを特徴とする半導体製造装置。

28. 請求項27記載の半導体製造装置において、

前記欠陥検査装置がエネルギー線を用いた欠陥検査装置であり、該欠陥検査装置が前記半導体製造装置と一体となっていることを特徴とする半導体製造装置。

25 29. 請求項27または28記載の半導体製造装置において、

前記半導体製造装置が、エッチング（パターン形成）部、洗浄部、乾燥部、前記欠陥検査装置を有する検査部、ならびに、ロード部およびアンロード部を備えて構成されており、前記検査部が、前記エッチング部、前記乾燥部、および前記アンロード部のいずれか一つ又はいずれか二つあるいは三つに近接して設置され

ていることを特徴とする半導体製造装置。

30. 請求項27ないし29のいずれか記載の半導体製造装置において、

前記欠陥検査装置が電子線欠陥検査装置であり、前記半導体製造装置には洗浄装置及び乾燥装置が組み込まれていることを特徴とする半導体製造装置。

5 31. 請求項30記載の半導体製造装置において、

前記電子線欠陥検査装置が差動排気システムを備えていることを特徴とする半導体製造装置。

32. 請求項31記載の半導体製造装置において、

10 試料表面の電子線照射領域を前記差動排気システムにより減圧するようになされていることを特徴とする半導体製造装置。

33. 請求項30乃至32のいずれか記載の半導体製造装置において、

前記欠陥検査装置が走査型電子顕微鏡（SEM）方式の電子線欠陥検査装置であることを特徴とする半導体製造装置。

34. 請求項33記載の半導体製造装置において、

15 前記電子線欠陥検査装置に用いられる一次電子線が複数の電子線で構成されており、試料からの二次電子は、E×Bフィルタ（ウィーンフィルタ）により一次電子線の光軸から分離されて複数の電子線検出器で検出されるようになされていることを特徴とする半導体製造装置。

35. 請求項30乃至32のいずれか記載の半導体製造装置において、

20 前記欠陥検査装置が写像投影型電子顕微鏡方式の電子線欠陥検査装置であることを特徴とする半導体製造装置。

36. 請求項35記載の半導体製造装置において、

25 前記電子線欠陥検査装置に用いられる一次電子線が複数の電子線で構成されており、該複数の電子線は走査しながら試料に照射され、試料からの二次電子は、E×Bフィルタ（ウィーンフィルタ）により一次電子線の光軸から分離されて二次元又はラインイメージセンサで検出されるようになされていることを特徴とする半導体製造装置。

37. LaB₆電子銃から放出された電子線を整形して試料に照射し、該試料から出てきた電子線を写像投影型電子顕微鏡方式の光学系で画像形成する欠陥検

査装置である電子線装置であって、ロード・アンロード用のロードロック室を備えており、前記LaB₆電子銃が空間電荷制限条件で動作するようになされていることを特徴とする電子線装置。

38. 請求項37記載の電子線装置において、

- 5 前記試料から出てくる電子線が反射電子又は透過電子であることを特徴とする電子線装置。

39. 請求項37記載の電子線装置において、

写像投影された試料像を蛍光板で光学像に変換し、該光学像をFOPまたはレンズ系によってTDI検出器に結像させる方式であることを特徴とする電子線装置。

10

40. 請求項37記載の電子線装置において、

写像投影された試料像を、電子線に感度を有するTDI検出器に結像させる方式であることを特徴とする電子線装置。

41. 請求項37記載の電子線装置において、

- 15 前記試料が静電チャックで試料台に固定されるようになされており、該試料台の位置を計測するためのレーザ干渉計が設けられており、前記試料は前記ロードロック室でも静電チャックで固定されるようになされていることを特徴とする電子線装置。

42. 請求項27ないし41のいずれか1項記載の欠陥検査装置を用いてプロセス途中のウェーハを検査することを特徴とする半導体デバイス製造方法。

20

43. 一つのプロセス終了後のウェーハ又はマスクの欠陥検査および欠陥解析を行ない、その結果をプロセス工程にフィードバックさせることを特徴とするデバイス製造方法。

44. 検査対象である試料の試料面に電子銃より放出された1次電子線を入射させ、その試料から放出される2次電子線により形成される電子像を拡大して検出する電子線装置に於いて、

25

前記1次電子線と前記2次電子線とに共通する光路上にNA開口を設け、前記試料面の近くに電子レンズを設け、

前記電子銃が作るクロスオーバと前記電子レンズと前記NA開口とが、それぞ

れ共役関係にあることを特徴とする電子線装置。

45. 請求項44に記載の電子線装置において、前記電子レンズの主面もしくは主面近傍に、前記NA開口像を形成することを特徴とする電子線装置。

46. 請求項45に記載の電子線装置において、

5 前記1次電子線の経路上に成形開口を設け、

前記成形開口と前記試料とを共役面とすることを特徴とする電子線装置。

47. 1次電子線を試料面に照射し、試料から放出される2次電子を像として拡大し検出する電子線装置に於いて、試料面に入射させる1次電子線のビーム形状を光軸近くで強度が小さく、光軸から離れた場所では強度が大きい分布を有する
10 ことを特徴とする電子線装置。

48. 請求項44ないし請求項46のいずれかに記載の電子線装置において、

試料面に入射させる1次電子線のビーム形状を光軸近くで強度が小さく、光軸から離れた場所では強度が大きい分布を有することを特徴とする電子線装置。

49. 1次電子線をE×B分離器を用いて試料面に垂直に入射させ、前記試料
15 面から放出される2次電子又は後方散乱電子を少なくとも2段の電子レンズで像として拡大させ、検出する電子線装置において、前記電子線の経路において最も下流に位置する電子レンズと検出器との間に前記E×B分離器を配置することを特徴とする電子線装置。

50. 請求項44ないし請求項48のいずれかに記載の電子線装置において、
20 2次電子又は後方散乱電子の経路上に少なくとも2段の電子レンズを配し、前記E×B分離器を前記2段の電子レンズのうち下流に位置する電子レンズと検出器との間に配置することを特徴とする電子線装置。

51. 1次電子線をE×B分離器を用いて試料面に垂直に入射させ、試料から
25 放出される2次電子又は後方散乱電子を像として拡大して検出する電子線装置に於いて、

前記E×B分離器は、磁場による2次電子の偏向角が電場によるものの2倍程度であることを特徴とする電子線装置。

52. 請求項49または請求項50に記載の電子線装置に於いて、

前記E×B分離器は、磁場による2次電子の偏向角が電場によるものの2倍程

度であることを特徴とする電子線装置。

53. 請求項51または請求項52に記載の電子線装置において、

前記E×B分離器は、4500 eV程度の2次電子又は後方散乱電子を偏向させるよう設定され、かつ、2次電子線の光軸に対して2次電子線を7°～15°

5 偏向させるよう設定されていることを特徴とする電子線装置。

54. 検査対象である試料に、電子銃より放出された1次電子線を照射し、その透過した透過電子線により形成される電子像を拡大して検出する電子線装置に於いて、

10 前記透過電子線の経路上にNA開口を設け、前記試料の近くに電子レンズを設け、

前記電子銃が作るクロスオーバと前記電子レンズと前記NA開口とが、それぞれ共役関係にあることを特徴とする電子線装置。

15 55. 請求項54に記載の電子線装置において、前記電子レンズの主面もしくは主面近傍に、前記透過電子線による電子銃のクロスオーバ像を形成することを特徴とする電子線装置。

56. 請求項55に記載の電子線装置において、

前記1次電子線の経路上に成形開口を設け、

前記成形開口と前記試料を共役関係となるように配置することを特徴とする電子線装置。

20 57. 試料面から放出される2次電子、後方散乱電子あるいは試料を透過した電子像を少なくとも2段の電子レンズで拡大して検出する電子線装置に於いて、1段目の電子レンズが作る拡大像の位置を2段目の電子レンズより上流の特定の位置に合せることによって歪収差あるいは倍率色収差を小さくすることを特徴とする電子線装置。

25 58. 請求項54ないし請求項56のいずれかに記載の電子線装置において、

前記透過電子線の経路上に少なくとも2段の電子レンズを設け、1段目の電子レンズが作る拡大像の位置を2段目の電子レンズより上流の特定の位置に合せることを特徴とする電子線装置。

59. 1次電子線を試料に照射し、試料から放出された2次電子像、後方散乱

電子像あるいは、試料を透過する透過電子像を拡大して像として検出する電子線装置に於いて、

- 5 検出した像の歪収差をシュミレーション計算し、歪収差の3次の絶対値と5次の絶対値との差を求め、前記差が最小となるか、もしくは5次の絶対値が3次の絶対値より5～15%程度大きくなる様に、補正パラメータを最適化し、前記最適化された補正パラメータに応じて、1段目の電子レンズが作る拡大像の位置を設定することを特徴とする電子線装置。

60. 請求項57または請求項58に記載の電子線装置において、

- 10 検出した像の歪収差をシュミレーション計算し、歪収差の3次の絶対値と5次の絶対値との差を求め、前記差が最小となるか、もしくは5次の絶対値が3次の絶対値より5～15%程度大きくなる様に、補正パラメータを最適化し、

前記補正パラメータは、前記2段目の電子レンズと拡大像との距離であり、前記最適化された補正パラメータに応じて、1段目の電子レンズが作る拡大像の位置を設定することを特徴とする電子線装置。

- 15 61. 試料を透過した電子を前記試料に近接して配置された電子レンズで透過電子像として拡大し、CCD又はTDI又はEBCCDのいずれかで検出する電子線装置に於いて、前記透過電子像を拡大する拡大率を変えるとき、前記試料と前記対物レンズとの間の距離を変化させることを特徴とする電子線装置。

- 20 62. 請求項54ないし請求項60のいずれかに記載の電子線装置において、一つの試料を他の試料に変更する際に、前記試料に近接して配置された電子レンズと前記試料との距離の調節手段を設けたことを特徴とする電子線装置。

63. 請求項44ないし請求項62のいずれかに記載の電子線装置に於いて、前記試料面の近くに設けた電子レンズは、ギャップが試料側に形成された電磁レンズを備えていることを特徴とする電子線装置。

- 25 64. 請求項44ないし請求項53、請求項57、請求項59または請求項60、請求項63のいずれかに記載の電子線装置を用いて、前記被検査試料であるところの半導体ウェーハの欠陥を検査することを特徴とする半導体のデバイス製造方法。

65. 請求項54ないし請求項63のいずれかに記載の電子線装置を用いて欠

陥検査を行ったマスクを使うことを特徴とする半導体デバイスの製造方法。

ELECTRON BEAM SYSTEM

ABSTRACT OF THE DISCLOSURE

電子銃から放出された電子線をステンシルマスクに照射し、ステンシルマスクを透過した電子線を電子レンズで拡大して複数の画素を有する検出器で検出して
5 試料の画像を形成する電子線装置である。

また、ウェーハやステンシルマスク等の試料のためのエッチング装置に、検査装置を内蔵させる。エッチング装置はさらに、ロードユニット、パターン形成ユニット、洗浄ユニット、乾燥ユニットおよびアンロードユニットを備える。エッチング装置は、前工程から試料を受け取り、エッチング内の上記各ユニットによって各処理を行い、処理済みの試料を次工程へと送る。各ユニット間の移動に試料ロード手段および試料アンロード手段ならびに輸送手段は必要としない。ステンシルマスクに裏側から面状のビームを照射し、透過ビームを写像投影し、TDI
10 検出器で検出するので多数の画素を同時に画像化できるので高スループットで検査ができる。

さらに、検査対象である試料の試料面に電子銃より放出された1次電子線を入射させ、その試料から出てくる2次電子線により形成される電子像を拡大して検出する電子線装置に於いて、前記1次電子線と前記2次電子線とに共通する経路上にNA開口を設け、前記試料面の近くに電子レンズを設け、前記1次電子線に関し、前記電子銃が作るクロスオーバと前記電子レンズと前記NA開口とが、
15
20 それぞれ共役関係にする。